

کتابخانه آصفیه بهر کار عالی حیدر آباد دکن

سجله داخله - - - - - ۱۵۵۹

افله از فردی مستقیم لغایت آبان ۱۳۳۱
کتاب کشف المصنوع فی تالیف المصنفین - - - - -

کتاب - - - - -

کتاب در فن مذکور - - - - -

هو الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون * في تطبيق
الهندسة على الفنون ، أبرزه من الرنساوية الى العربية
و ابن رجة المعيد المبدى * الشيرلوك الهولم السيد
صالح اتندي * غفر الله ذنوبه وستر

في الدارين عيونه

المنبع

رقم الكتاب	٥١٨٤
تاريخ	١٤٣٠
ملاحظات	

5184
SIA

فهرسة الجزء الثانى من كتاب كشف رموز السر المصون
فى تطبيق الهندسة على الفنون

صحيفة

- ٢ بيان ميكانيكا الحرف والصنائع والفنون المستطرفة
الدرس الاول فى ذكر مجموع الاقيسة المستعملة فى الفنون الميكانيكية
- ٢ على العموم
- ٣ بيان الاقيسة الهندسية
- ٣ بيان اقيسة الطول
- ٧ بيان اقيسة السطوح
- ٨ بيان اقيسة الاتساع
- ٨ بيان اقيسة الميكانيكا وهى الاثقال
- ٩ بيان قياس القوى فى الميكانيكا بالتقود
- الدرس الثانى فى بيان مابقى من الاقيسة وفى قوانين التحرك الاولى
- ٢١ وتطبيقها على الآلات
- ٢٤ بيان قوانين التحرك الاولى
- ٢٥ بيان التوازن
- ٣٦ بيان التناقل
- ٤٢ الدرس الثالث فى بيان القوى المتوازية
- الدرس الرابع فى بيان مراكز ثقل الآلات ومحصولات الصناعة وفى كمية
- ٥٨ القوى
- ٦٤ بيان مركز ثقل السطوح
- ٦٤ بيان مركز ثقل المثلث
- ٦٥ بيان مركز ثقل ذى الاربعة الاضلاع
- ٦٧ بيان مقادير القوى المتوازية
- ٨٢ بيان استعمال مراكز الثقل لاجل تحصيل حجم بعض الاجسام

الدرس الخامس في بيان ما بقى من قوانين التحرك

الدرس السادس في بيان الالات البسيطة وهي الجبال والقناطر
المعلقة وعدد خيول العربات وادوات السف ولو ازمها وما شبه

ذلك

١٠٣

بيان الجبال

١٠٣

١٠٦

بيان الكبش (اي الشامردان) وهو الالة المعدة لدق الخواير

١١٩

بيان القناطر المعلقة

الدرس السابع في بيان ما بقى من الجبال وفي التحركات المستديرة
للعبال والقضبان والعجلات والطيارات وفي مقادير الايترسى

١٢٦

وفي البندولات

١٤٧

بيان البندول

١٥٧

بيان معادل الالات البخارية

١٥٨

الدرس الثامن في بيان الرافعة

١٦٦

بيان الرافعة التي من النوع الاول

١٧٢

بيان الرافعة التي من النوع الثاني

١٧٢

بيان الرافعة التي من النوع الثالث

١٧٥

الدرس التاسع في بيان البكرات والملفات

١٨٠

بيان البكر المتحرك

١٨٩

بيان التناقل في البكرات

١٩٨

الدرس العاشر في بيان المنجنون والطارات المضرسة

٢٠٣

بيان تأثيرات التناقل في المنجنون

الدرس الحادي عشر في بيان التوازن على المستويات الثابتة

٢١٩

والمستويات المائلة وسكك الحديد التي مستوياتها مائلة

٢٣٨

بيان المستويات المائلة

حقيقه

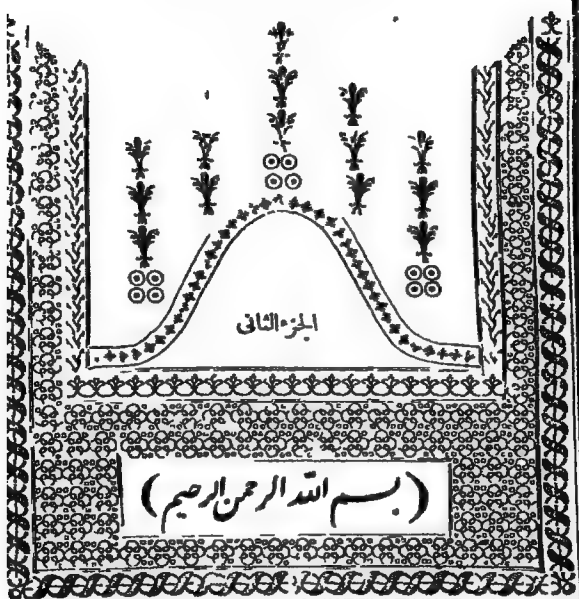
- الدرس الثاني عشر في بيان البريمة والالتواء والجبال والخابور
 ٢٤٤ وسائر الآلات التي من هذا القبيل
 ٢٥٢ بيان التواء الجبال
 ٢٥٤ بيان الخابور
 ٢٦٥ الدرس الثالث عشر في بيان ما يقع في الآلات من الاحتكاك
 ٢٨٦ الدرس الرابع عشر في بيان الضغط والشدة والمرونة على العموم
 ٣٠٧ الدرس الخامس عشر في بيان اصطدام الاجسام

بيان ما وقع من الخطا والصواب في الجزء الثاني من كتاب كشف رموز
السرايمون في تطبيق الهندسة على القنون

خطا	صواب	صحيفة	سطر
اقيسة الاتساع	المكايل	٨	١
اوالاتساع	اوالمكايل	٨	٢
اقيسة السعة	المكايل	١٣	١٤
ومواد التجارة	وآلات التجارة	١٣	٢٣
عتتها	اعتنها	١٣	٢٤
وا	وا	٣٣	١٧
ا	ا	٣٣	١٨
ا	ا	٣٣	١٩
ا	ا	٣٣	٢٤
كمية القوى	مقادير القوى	٥٨	١٣
متألفا	متألف	٦٠	١٠
ع	غ	٧٢	١٣
جلاظلة	صناع	٧٣	٧
٢	$\frac{1}{2}$	٧٥	٣
ع ع	غ غ	٧٥	٩
ع غ	غ غ	٧٥	١١
س	س	٨١	٦
ك ص	ك ص	٨١	٧
عند مركز	عن مركز	٨١	١٠
م ص	م ص	٩٨	١٥
و ح ح	و ح ح	٩٨	١٧
اذا نزلنا	اذا نزلنا	٩٩	٥

خطا	صواب	صحيفة	سطر
اى المتجنيق	اى المتجنون (وهكذا كما جاء فى هذا	١٠٣	١٢
	الجزء من جنين فصوله متجنون)		
بالنظرت	بالنظريات	١٠٣	١٨
ث صه ز صه	ث صه ز صه	١٠٨	٥
اصه	اصه	١٠٩	١٤
ف مس	ف ض	١٣٥	١٦
و غ م	و غ م	١٣٨	١٦
تكون م التى هى كية	تكون كية تحرك لم	١٤٢	٢
التحرك			
من نقطة د	من نقطة د	١٦١	٢١
على لان	على حالة	١٦٦	٢٠ و ١٩
لقوة س	لقوة سه	١٧١	٢١
وهور	وهول	١٧٤	٩
ل	ل	١٧٤	١٨
س ل	س ل	١٧٤	١٩
خ خ	خ خ	١٧٨	٢
ل خ	ل خ	١٨٤	٤
ل خ	ل خ	١٨٥	٩
(ث +)	(ث +)	٢٠٢	٩
ونقطة	ونقط	٢٠٤	١٢
من نقل	من مركز نقل	٢٠٤	٢٣
مركبة	مركبة (شكل ٤)	٢٠٥	٢٠

	خطا	صواب	صحيفه	مطر
	العيار	(شكل) العيار (٦)	٢٠٦	١٦
	يبحره	ويبحره	٢١١	٣
	كالقرص	كالدولاب	٢١٤	٨ و ١٥
	أباب	أ- أب	٢١٥	٤
	=ز'	=ز'	٢١٥	١٦
	xز'	xز'	٢١٥	١٧
	ح ع	خ غ	٢٢٢	٦
	وذوات	و ذات	٢٢٣	٢٥
	م ب	من	٢٢٥	١٣
	الرياح الطيبة	المصاريف	٢٣٥	٢
	طاقات	جالات	٢٣٦	٨
	ف=	ف=	٢٥١	١٧
	ح	خ	٢٥٧	١٩
	من اطرافهما	من اطرافهما	٢٦٧	٦
	استبدلوا	فاستبدلوا	٢٦٨	٢٣
	رمانة القبان	القبان	٢٧٣	٢٢
	٢٠٠٠٠	١٠٠٠::٢٠٠٠٠		
	:١٤٢:		٢٧٤	١٥
	الخ :١٠٠٠:١٦ الخ		٢٨٤	٧ و ٦
	فكي الكاشة	فكي التحنة	٢٨٨	١٤



(بيان ميكانيكا الحرف والصنائع والفنون المستطرفة)

(الدرس الأول)

(في ذكر مجموع الاقيسة المستعملة في الفنون الميكانيكية على العموم)

اعلم ان خواص الاجسام المادية قابلة للقياس وبقياسها يحدث في علم الحساب طريقة تقويم النسب الموجودة بين الخواص المتماثلة والدرجات المتنوعة من كل خاصية

ثم ان البحث عن طرق تفصيل قياس هذه الخواص من موضوعات علم الطبيعة الاصلية وكلما طهر فرع جديد من هذا العلم يلزم ايجاد اقيسة للنسب الجديدة التي تظهر منه وكل من هذه الاقيسة يوصل عادة الى معارف لا يمكن اكتسابها بدون العلم المذكور

ولتقتصر الآن على معرفة الأقيسة التي لا بد منها في علم الميكانيكا وأما الأقيسة الأصلية التي لا فائدة لها إلا في بعض فروع من هذا العلم وفي بعض فنون فنياتها مرتبة عند الكلام على المواد الأصلية المتعلقة بها

*(بيان الأقيسة الهندسية) *

تطلق الأقيسة الهندسية على أقيسة الامتداد وهي المسافات والسطوح والجوم وتستعمل تلك الأقيسة في علم الميكانيكا لأجل قياس المسافات المشغولة والمقطوعة بالزمن والحلوط والسطوح والأجسام

*(بيان أقيسة الطول) *

اتفقوا على أنه يمكن أخذ جزء من خط مستقيم كثير الامتداد أو قليله وجعله وحدة للطول وأنه يمكن أيضاً تغيير هذه الوحدة على حسب الأزمنة والامكنة والاحتياجات والأحوال ومن ثم ترى الترساوية والنمساوية والإيطالين والآنكليز وأغلب الملل يستعملون لقياس الأطوال وحدة مختلفة بل ترى في الغالب الأمة الواحدة تستعمل في أقاليمها المتسعة أقيسة للطول غير متماثلة بالكلية

ومثل هذا الاختلاف ينشأ عنه خطأ كبير في عمليات الفنون والتجارة وما به محاطة الأهالي وارتباط بعضهم ببعض وبواسطته يلزم معرفة نسبة الأحاد المتضادة المعدة لقياس الأشياء المتجانسة معرفة صحيحة تامة فإذا اردنا عمل ما يلزم من الحسابات للأشغال الميكانيكية والنقل والبيع والشراء يلزم تحويل الأرقام لأجل معرفة المقدار الحقيقي للابعد والأسعار

وبقطع النظر عما يترتب على هذا التحويل من ضياع الزمن يوجد في وسائط التحويل المذكور نقص بين يغشيه من ليس معه زمن كاف أو لا قدرة له على فهم مثل تلك الحسابات المشكلة التي لم ترل أخذتها في الزيادة فاذن يجب على كل ملكه أن لا يستعمل في جميع أراميهما الأنواع واحدا من الأقيسة

وإذا امعنت النظر رأيت أيضاً أنه يلزم ذلك لجميع الناس لاسيما الأمة المتقدمة نظراً لمخاطباتهم الأهلية

ومن ثم كانت مملكة البلاد الواطية وقسم من بلاد السويد والبيومون
ومملكة ايطاليا القديمة ومملكة نابلي تستعمل الان انواع الاقيسة التي
اصطلح عليها الفرنسيون ولولا ما يوجد عند بعض الامم من المنافسة والغيرة
لاستعملت تلك الانواع عند جميع الملل المتقدمة في المعارف

ثم ان وحدة اقيسة الطول التي كانت مستعملة قديما ليس لها في الطبيعة اصل
نابت يقول عليه في استعمال هذه الوحدة في سائر الازمنة والامكنة واخذوا
قديما القدم والتوازن على طول قامة وقدم من انسان طويل القامة ولكن
حيث كان يتدر وجود شخصين متعددين في طول القدم والقامة لزم انهم
لوقدوا مقدار القدم والتوازن المتقدمين لتعذر عليهم ايجاد هذه الوحدة
ثانيا مع مزيد الضبط والصحة

ولماعتن لعلماء الفرج أن يقيسوا على سطح الارض المسافة التي بين القطب
وخط الاستواء من الشمال الى الجنوب تابعين اتجاه خط من خطوط نصف
النهار اجروا هذه العملية النفيسة مع النجاش الذي عظم به شأن الطرق العلمية
والآلات الميكانيكية والمعارف والمواطنة وشجاعة مشاهير الرجال الذين
شرعوا واستمروا على هذا العمل الجسيم

وذلك انهم بعد أن قسروا طول المسافة المذكورة مع غاية الضبط الذي توصل
اليه الصناعة قسموه الى عشرة ملايين متساوية الاجزاء واخذوا احدها
الاجزاء وجعلوه وحدة للطول وسماهوا مترا

والمتر يساوي بمقابله للاقيسة القديمة ٣ اقدام و ١١ خطا و ٢٩٦
من الف من خط اعني انه اقل من ٣ اقدام وقيراط

فادا لم يكن هناك الامسافات مختلفة قليلا وكانت لا تحتاج الى مزيد الضبط
امكن استعمال نوع واحد من الآحاد وترك الكسور الا ان هناك مسافات
عديدة او اطوالا كثيرة ينبغي قياسها باقل من المتر وهذا من البديهيات
فان هناك اشياء لم يبلغ طولها مترا واحدا وبناء على ذلك لزم تقسيم الوحدة
الاصلية للاقيسة الى تقسيمات اولية وثانوية

وبذلك ظهرت إحدى الفوائد العظيمة الناشئة عن الطريقة الجديدة
ثم إن طريقة العد في باب العدية تكون بالآحاد والعشرات والمئات وأبآحاد
الألوف وهكذا بان تبدأ بالآحاد من عشرة إلى عشرة أكبر منها إذا راعينا
تركيب الأرقام من اليمين إلى الشمال ومن عشرة إلى عشرة أصغر منها
إذا راعينا العكس أي من الشمال إلى اليمين

وهذه الطريقة مطابقة لطريقة الأقيسة الفرنسية الجديدة والآنسب أن يقال
إنها عين الطريقة الداخلة في ضروب الأقيسة الفرنسية وتقسيماتها الثانوية
وقد قسموا أولاً المتر إلى عشرة أجزاء وهي الديسمتر ثم قسموا الديسمتر
إلى عشرة أجزاء وهي عشر العشر أي مائة المتر وتسمى سنتيمتر ثم قسموا
السنتيمتر إلى عشرة أجزاء وهي اعشار السنتيمتر أي اعشار المئات أعني جزءاً
من القمم المتر وتسمى مليمترا وهلم جرا

وقد اسلفنا أن هناك أشياء لا يبلغ طولها مترافئاً على ذلك ينبغي أن يكون
هناك أحاد صغيرة لقياس الأشياء الصغيرة الأبعاد والمسافات القصيرة
وأحاد كبيرة لقياس الأشياء الكبيرة الأبعاد والمسافات الطويلة
فنأخذ أولاً ما يبلغ عشرة أمتار يصنعوا منه القياس المسمى بالديكامتر
وطولاً مقداره عشرة ديكامترات أو مائة متر يصنعوا منه القياس المسمى
بالأكتومتر

وطولاً مقداره عشرة أكتومترات أي مائة متر مكررة عشرة مرات أعني
الف متر يصنعوا منه القياس المسمى بالكيلومتر
وطولاً مقداره ألف متر مكرراً عشرة مرات أعني عشرة آلاف متر يصنعوا
منه القياس المسمى بالميريومتر

وكل عشرة من الميريومتر تساوي درجة مئتين من الأرض أي ١٠٠
جزء من البعد المحصور بين القطب وخط الاستواء المقوس على خط من
خطوط نصف النهار

ودرجة الأرض العرضية تساوي عشرة من الميريومتر
والدقيقة تساوي كيلومتراً

والثانية تساوى ديكامترا

والثالثة تساوى دسمترا

والرابعة تساوى ملترا

فعلى ذلك ليست جميع الاقيسة المستعملة في طرق فرانسسا وسككها
وفي الاشغال الهيئة الانواع واحدا من ابتداء ملتر بسيط الى الدورة الكاملة
من الارض كما سبق موضحا في الدرس الثالث من الهندسة الذي تكلمنا فيه
على الدائرة

وبذلك يظهر لك ما يترتب على هذه المطابقات العظيمة من مزيد الاختصار
في كثير من عمليات الملاحاة والطبوغرافيا اى رسم الارض او الجغرافيا
المزوجة بارصاد فلكية

واعظم فوائد طريقة الاقيسة الجديدة هي سهولة جميع عمليات الحساب
على ممارستها اذ بها يمكن ان يصنع اى طول من الميريامتر او الكيلومتر او من
الاكتومتر او الديكامتر او المتر على وجه بحيث يضع من الشمال
الى اليمين جميع تلك الاعداد بعضها عقب بعض كالآحاد والعشرات والمئات
من عدد واحد

فعلى ذلك اذا كانت هذه الاسماء الماخوذة من اللغة اليونانية تشوش الذهن
ويعسر حفظها وتعليقها فانه يمكن عدم الالتفات اليها بالكلية وراحة
الذهن منها وترك التلقظ بها والاتبان بدلها بعشرات المتر ومئاته وهلم جرا
لان ذلك لا يغير شيئا من الطريقة السابقة

ثم ان كسور المتر وهي الدسمتر والستيمتر والمتر الخ تكتب كالكسور
الاعشارية على عين الامتار وتجري عملياتها مع السهولة كعمليات الاعداد

الصحيحة (الا انه يوضع بينها وبين الصحيحة شرطة تفصلها عنها مثلا ٤ و ٥
يعنى خمسة امتار واربعة اعشار من متر)

ومن المعلوم ان كثيرا من الناس استعملوا غير مرة الاقيسة القديمة ولم يرالوا

يستعملونها

يستعملونها الى الآن مع انهم يعرفون ان تقسيم هذه الطريقة الخالي عن
الانتظام يشوش الذهن ويوقع الانسان في الحيرة والسأمة وهو مع ذلك
عرضة للوقوع في الخطا فان التواز الذي قدره ستة اقدام والقدم الذي
قدره اثنا عشر قيراطا والقيراط الذي قدره اثنا عشر خطا والخط الذي قدره
اثنا عشر نقطة يتكون منها تقسيمات ثانوية لا تطابق بالكلية ترتيب اعداد
الحسابات الاعشارية وهذه التقسيمات الثانوية المعروفة بالاجزاء الضلعية
تستدعي عمليات صعبة يفرغ منها الاطفال لصعوبتها وكانت تستغرق
في تعليمها عدة سنوات لتكامل مدروسها بخلافها الآن فانه يمكن تعليمها
للاطفال من ابتداء صغرهم في قليل من الزمن بحيث يمكنهم تطبيقها
على الاقيسة الجليدية

وقوائد هذه الطريقة الجديدة توجد بعينها في انواع الاقيسة التي سذكرها
وقد كان يظهر ان هذه الطريقة يجب أن تنشر وتستعمل عند جميع الامم
او عند الامة الفرنسية خاصة لما انها تعتبرها كالاتار المالية الان الا وهام
القاسدة وما يعرض من الصعوبات الوقفية منعت من ذلك مدة مديدة
ثم ان المتر اصل لما عدها من اقيسة الطول الاخرى كما سقت الاشارة اليه
وهو ايضا اصل لسائر اقيسة السطوح والحجوم والاتقال وغير ذلك

* (بيان اقيسة السطوح) *

اعلم ان الوحدة الاصلية لهذه الاقيسة هي المتر المربع
والا وهو المربع الذي طوله عشرة امتار وعرضه كذلك فهو كتابة عن عشرة
صفوف مربعة من عشرة امتار مربعة او مائة متر مربع (كما هو مقرر
في الدرس الرابع من الهندسة)

والا كآر هو المربع الذي طوله عشرة آرات وعرضه كذلك فهو عبارة
عن عشرة صفوف مربعة من عشرة آرات مربعة او مائة آر مربع ويستعمله
الفرنساوية بدلا عن القدان القديم كما انهم يستعملون الآر عوضا عن القصبة
القديمة

(بيان اقيسة الانساع)

المتر المكعب المسمى بالآستير هو وحدهما للجوهر والانساع
فال مكعب الذي يبلغ دسجترا واحدا من جميع جهاته اى الذى قدره دسجتر مكعب
هو جزء من الف من المتر المكعب

ولاجل سهولة عمليات التجارة والفنون الميكانيكية صنعوا اوانى يبلغ داخلها
دسجتر مكعبا وسعوها لترا واستعملوها فى قياس الموائع والمواد من
حبوب وتراب وغيرهما

واما الاكمولتر فهو وعاء اكبر من المتر مائة مرة او يحتوى على
مائة لتر والاكتومتر هو قياس مائة متر

وبالنظر الى الكميات الصغيرة يتقسم المتر الى عشرة دسلترات او الى مائة
سنتلتر او الف مليلتر الخ كما ان المتر يحتوى على عشرة دسجترات او مائة
سنتر او الف ملتر

ثم ان ما يوجد من المشابهة التامة بين هذه التقسيمات الثافوية للاقيسة المتنوعة
واسماها مقبول وملائم لا يقتضيه العقل وبه يسهل على كل انسان تذكر هذه
الاسماء ببدولاتها

ولامانع من تسمية الاقيسة الثلاثة التى بينها قريبا بالاقيسة الهندسية حيث
انها تكفى فى قياس جميع ما نبعت عنه الهندسة المحضة غير انه يلزم ان يضم اليها
اقيسة اخرى تحتاجها العلوم والفنون الميكانيكية

(بيان اقيسة الميكانيكا وهى الانتقال)

لجميع اجسام الارض ميل الى القرب من مركزها فلولامانع لتربت منه
بان تسقط عليه ثم ان الثقل هو القوة الكلية التى يعميل بها الجسم الساكن الى
السقوط على وجه الارض

فعلى هذا يكون للجسمين ثقل واحد اذا كانت قوتهمما التى يميلان بها الى السقوط
جهة مركز الارض متساوية

ويمكن بمائله ثقل الاجسام وتقويمه بواسطة الالات التى سيأتى بيانها وبواسطة
تلك الالات يعرف هل الجسمين ثقل واحد ام لا

فالغرام هو وحدة القياس الذي يقسب اليه ثقل جميع الاجسام
والديكغرام هو ١٠ غرامات
والاكتوغرام هو ١٠٠ غرام
والكيلوغرام هو ١٠٠٠ غرام
والمرياغرام هو ١٠٠٠٠ غرام
وهذه الاسماء من قبيل الكلمات المركبة الاصطلاحية المستعملة في الاقيسة
العظيمة كالتر واللترو وغيرهما فان كلا منهما مركب
ويستعمل الكيلوغرام في وزن الاجسام التي يكون ثقلها مماثلًا لثقل الاشياء
التي يمكن استعمالها بسهولة والطنطار المترى هو ١٠٠ كيلوغرام
وما يعرف عند الملاحين بالننو (اي البرميل) هو ١٠٠٠ كيلوغرام
واما الغرام وتسمياته الثانوية فيستعمل في وزن الاشياء الصغيرة كمواد
الصياغة والكيميا والاجزائاته وغير ذلك وينقسم الى عشرة دسغرامات
ومائة ستغرام واللف ملغرام
ولاجل تطبيق صنج الاتصال على اقيسة الابعاد جعلوا مقدار الكيلوغرام
نقل دسمتر واحد مكعب او لتر من المياه الصافية الاثلة الى كثافتها العظوى
بواسطة هبوط درجة حرارتها على وجه لائق
فعلى ذلك اذا كان لا يوجد في سائر بقاع الارض الا متر واحد او لتر
واحد او استير واحد او كيلوغرام واحد فانه يمكن ايجاد جميع انواع
الاقيسة الاخرى مع غاية الضبط والسهولة
والقياس المستعمل في الفنون الذي لا ينبغي اهماله هو النقود
فوحدة النقود هي الفرنك وهو يقسم الى عشرة اجزاء تسمى دسما والى
مائة جزء تسمى شتيميا والى الف جزء تسمى ملزيميا وكل خمسة فرنكات
تساوى ريبالا فرنساوى يسمى شنكو وكل ثقل اربعين من الشنكو يساوى
كيلوغراما واحدا وهذا هو الرابطة بين اقيسة النقود والاقيسة الجديدة
(*) بيان قياس القوى في الميكانيكا بالنقود *

كما ان النقود تقدم مسد المقادير كذلك تقدم مسد قياس القوى المستعملة
في اشغال الفنون

وقد قال المهندس مستغول فيير الشهير اني لا اعرف من القوى الا القوة
المستعملة بالاجرة فقد جعل النقود قياسا للقوة المستعملة في تحصيل
اي شئ كان

مثال ذلك رجل له درجة ما من القوة واستعملها في نقل اي ثقل الى مسافة
تبلغ مترا واعطى له في نظير ذلك فرنك واحد وآخر اقوى منه واشتغل قبله
زمننا طويلا او كان اسرع منه ميرا نقل ضعف الثقل المتقدم الى ثلث المسافة
بعينها واعطى له في نظير ذلك فرنكان فهذان الفرنكان يدلان على ان هذه
القوة ضعف المتقدمة فهذا هو كيفية استعمال النقود قياسا لقوة

فاذا فرضنا الان ان ثلثا ثقل بواسطة آلة ما كالنقالة والعربة الصغيرة
والجرارة الثقل المتقدم ثلاث مرات بدون ان يصرف من القوة اكثر من التي
استعملها الرجل الاول الذي اخذ فرنكا واحدا في نظير ثقل هذا الثقل مرة
واحدة الى المسافة المذكورة فان هذا الرجل النقال الذي استعمل الآلة
ياخذ ثلاثة فرنكات مع احتمال انه استعمل قوة دون التي استعملها الاول
الذي اخذ فرنكا واحدا فعلى ذلك لاجل أن تكون النتيجة واحدة ينبغي
أن يصرف احدهما قوة ~~تكون~~ اكبر من القوة التي صرفها الآخر
ثلاث مرات

وعلى ما ذهب اليه المهندس مستغول فيير يلزم أن تكون اجرة الرجل
المتقدمين واحدة حيث انهما احدا عين النتيجة المتقدمة وأدنا من القوة
مقدارا واحدا وان كان احدهما صرف قوة اكبر من التي صرفها الآخر
ثلاث مرات

هذا والذي يجب على الميكانيكي أن يتصدى اليه من المسائل هو تحقيق جميع
الحركات والاستقلالات واشغال الفنون بحيث اذا اريد تحصيل نتيجة مفروضة
لا يستعمل في ذلك من القوة الممكنة الا كمية قليلة فبناء على ذلك يحصل

بواسطة كمية معلومة من القوى اليدوية مبلغ عظيم وهو اجرة النتيجة المطلوبة
فهذه هي المسئلة التي الغرض الاصل من ميكانيكا الفنون حلها
ثم ان القوة لا تظهر بمجرد التعادل والتوازن المتحصل بواسطة الاتصال
التي بها تناس هذه القوة بل تظهر بالحركات التي يلزم قياس مدتها
وانا لم اتعرض الا الآن الى تعريف الزمن والمدة لان تعريفى اياهما لا يتضح به
ما يتصوره كل انسان

رستعمل لاجسام التي تقطع مسافات متساوية في ازمته تساوية قياسا
للمدة غير انه ربما يستحال وجود مثل هذه الاجسام في الطبيعة ولا يمكن
قد شاهد الراصدون ان الشمس ترجع بالنسبة لكل من نقط الارض الى
مستور رأسي عند اتصاف الليل والتمهار (والمستوى الرأسى هو المستوى
الجانبي المتجه من الشمال الى الجنوب) وقسموا هذا الزمن الى اثني عشر جزءا
وسموا بالساعات وقسموا الساعة الى ستين دقيقة والدقيقة الى ستين ثانية
وهلم جرا

وهذا القياس كاف بالنسبة لما تدعو اليه الحاجة عادة في الحياة الاهلية
والادارية المنزلية بخلاف ما تدعو اليه حاجة العارم المضبوطة كعلمى الفلك
والجغرافيا وكذلك ما تدعو اليه حاجات بعض الفنون كفن الملاحة فانه غير كاف
لكون ايام السنة ايات مساوية لبعضها

فيجعل الفلكي وحدة قياسه الطول المتوسط من جميع ايام السنة ثم قسم
هذه الايام الفلكية تقسيما ثانويا الى ساعات ودقائق وثوان وغير ذلك والزمن
الذى يعرف بواسطة هذه الاقيسة الاخيرة يسمى بالزمن المتوسط

ولما ظهرت الطريقة الجديدة المتعلقة بالاقيسة اختاروا التقسيم
السنة طريقة مصر واثينا التي هي تركة من نزل المصريين قسموا السنة
الى اثني عشر شهرا والشهر الى ثلاثة اجزاء كل منها عشرة ايام وزادوا في كل سنة
خمس ايام على ٣٦٠ يوما الحاصلة من ضرب ٣٦ في عشرة وزادوا
كذلك في كل اربع سنين يوما سادسا مكملا لايام السنة الرابعة فتكون السنة

على ذلك ٣٦٦ يوما وهي المسماة بالسنة الكبيسة
فكانت هذه الطريقة ارجح مما تقرّر في زيج غرغوار من التقويم المخالف
الغريب النائي من الاثني عشر شهرا التي منها ماهو ٢٨ يوما ومنها ماهو
٢٩ ومنها ماهو ٣٠ ومنها ماهو ٣١ ومجموعها على ما في الزيج
المذكور ٥٢ اسبوعا الا ان جميع النصارى يميلون الى تقسيم
السنة بالاسبوع وايام البطالة والشغل المتعاقبة مع ان ذلك يخالف لقانون
العبادة حيث انهم كانوا يجعلون رؤس العشرات للذعة والبطالة واشهر
المواسم الدينية وعلى ما تقدم ينبغي ابقاء الايام على ما كانت عليه سابقا
ولا يلزم استعمال تقسيمها بالعشرات الا في التجارة والحسابات العامة
وحينئذ فليس هناك ما يمنع تلك الطريقة الاموانع قليلة
ولم يحفظ من تقسيم اليوم الى عشر ساعات والساعة الى مائة دقيقة والدقيقة
الى مائة ثانية الا تقسيم العشرات والاثني عشر شهرا المتساوية
وتم موانع كثيرة. نعت من شمول هذا الحكم للاجزاء الاخرى من مجموع الانتقال
والاقيسة ولاجل جعل الموانع التي تمنع من اختيار هذه الطريقة على منوال
الحسابات يلزم أن نبين خطأ المدبرين الذين يحملون التماس على اختيار
الطريقة المذكورة محض القوة والا كراه فنقول انهم كانوا دائما يخشون
أن تذهب من بين ايديهم حكومتهم المضطربة التي لا ثبات لها فبادروا قبل
كل شيء باجراء ما ينبغي عمله مع سهولة
ومن العمليات الاولية تجديد سبك جميع النقود التي وحدتها القرنك الطوري
القديم واما النقود الجديدة فوحدتها القرنك الجديد وقد مكثوا اكثر من خمس
عشرة سنة في تجديد سبك نقود الفضة ولم يكمل الى الآن واما نقود الذهب
فانها لم تبلغ الحد المطلوب الى ذلك الوقت
وقد اخطأ مبتدعو طريقة الاقيسة الجديدة خطأ فاحشا حيث ابطوا عموم
استعماله اقبل أن يجددوا عددا كافيا من انواع الاقيسة فكان ذلك سببا
في تعذر اجراء هذا القانون بدون واسطة

فبذلك صار التجار الذين الجأتهم الضرورة الى أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة الجديدة مجبورين على أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة القديمة نظرا الى ترغيب المستثمرين فانهم يريدون ذراعا من الجوخ مثلا لامترا ورطلين من خبز لا كيلو غراما وزقمان خمر لآلتر فهذا ما كانوا يفعلونه غالبا لاجل تطبيق الاقيسة الجديدة على القديمة اولا لاجل تحويل بعضها الى بعض

وقد تلاشى بعض هذه المضرات بتداول الازمان وصارت الآن الطريقة الجديدة التي تخص النقود معاومة عند اغلب اهلها ملكة فرنسا ومعمولا بها

وصار اهل مدينتي باريس ونيورنيس يستعملون الآن في قياس خشب الحريق الاستير دون غيره

واما الكيلوغرام فانه مستعمل عند كافة النقالين والتجار واما مقدار اللتر فهو معروف معرفة تامة عند الشغالين من جميع الطوائف لكونه قياسا للموائع

ومع ذلك فهناك بعض استثناءات مضرة من اقيسة السعة وهي المكاييل يربح زوالها

ولما تكلمنا على الجهالات والالوهام القاسدة ناسب أن يبين بعض صعوبات اخرى لاتعلق لها بأراء الناس وانما هي ناشئة من طبيعة الاشياء فيستنبط من ذلك البيان بعض معارف في الطرق التي ينتهيها قبول طريقة الاقيسة الجديدة والعمل بها نقول

فما يشق على الانسان أن يترك طريقة الاقيسة المستعملة منذ زمن طويل فان ضرر مبادئ الاختراع اكثر من نفعها واهي الصعوبات المذكورة

وهي ان جميع الاشياء المستعملة في الفنون وعند الناس كالآلات الكبيرة والصغيرة ومواد التجارة والمنقولات والعمارات تتركب من الاصول التي عدتها التجربة والبراهين والحساب لتعيين الابعاد والاتصال والجوهر حتى ان الحافظة عت شيئا فنياً الاعداد الدالة على الجوهرة والاتصال والابعاد

المتقدمة المنسوبة الى وحدة القياس فاذا كان الصانع لا يقتبس معارفه من اوار العلوم كان علمه مقصورا على المعرفة المحلية المتعلقة بمقادير كل نوع بحيث اذا تغيرت وحدة القياس للمعهودة له صارت معرفته العددية مقفودة بالكلية واذا اراد اخذ قياس بعد صغير لزم له تحويلات وحسابات وضياح زمن وزيادة تعب ولكن الكسل عند هؤلاء الناس بمنزلة الحماهى الفصيح مع ان الواقع خلافه فان تصوراتنا لا تخرج عن اللغة للمستعملة عندنا بل اذا تعلمنا لغة اخرى فانه لا يمكن أن نتبع ما يدولنا فيها من التصورات المتعاقبة ولا تخيلها وتقابل بينها زمنا طويلا بدون أن نراجع لغتنا الاصلية مع الادراك والتعقل ولا شك ان هذه المحوطة ظهرت بالتجربة لعدة من الناس وباجللة فقد يوجد من ذلك عمليات تتعلق به قولنا وذلك اتنا اذا استعملنا وحدة القياس مرارا فانها ترسخ بقوة هذا الاستعمال في اذهاننا بمعنى اننا نرى في الفراغ مقدار هذه الوحدة الحقيقي ونعرف كيفية تطبيقه على الاشياء التي تصور صورتها فاكتساب هذه المعرفة حيثئذ من اعظم التقدمات في ممارسة الفنون حيث يصير بها النظر هندسيا ويتعود على العمل المضبوط وبذلك يكون في غاية الكمال

ومما هو واقع الآن انك اذا ازلت من يعرف اى نوع من الاقيسة بتغيير احد قياسه فان كان من الناس المعتادين اى كيفية الرجال الذين لم يخرجوا عن العادة ضاعت منه معرفة الامتدادات بحيث اذا اطلع على طول القدم ظن انه يساوى طول ثلاثة اقدام وربما زاد عليه قيراطا واعتقد صحة هذا الطول ومع ذلك فلا يتصوره كتصور الوحدة ولا يعرف كيفية تطبيقه على الاشياء حتى يحولها الى قياسه ولا يستعمل المتر وتسمياته الثانوية الا اذا عرف من اقدام مثلا ما يبلغه البعد الذى يظن انه مناسب لشيء من الاشياء ثم يرى ما تساويه هذه اقدام من الامتار ولا يخفى ما فى ذلك من المنقطة والتطويل ولا ريب انه اذا استمر من له قريحة جيدة على هذا العمل مدة مديدة فان ذلك يحدث عنه اقيسة جديدة ولكن قلما يوجد من الناس

من يبيع عاجلا بأجل جيد ولو كان قريب الحصول جدا
وقد اسلفنا آنفا الكيفية المهمة التي يستعملها العقل في عمليات الفنون
ولما كان الناس عادة يميلون الى الاشياء البسيطة السهلة اجتهدوا في جعل
جميع الاشياء على نسبة اولية بينها وبين الاقيسة المستعملة وفي التعبير
بالاعداد الصحيحة عن الابعاد المستعملة عادة في الصناعة ويؤخذ من ذلك
ان الانسان الذي لم يحسب مدة حياته قوة قطعة صغيرة من الحديد او الحجارة
او الاخشاب لا يعرف هل مقدار قوتها يساوي ١٢ قيراطا او ١٢
قيراطا و $\frac{1}{4}$ او ١٢ قيراطا و $\frac{1}{2}$ او ١٢ قيراطا فكيف يمكنه
أن يعرف بمجرد النظر مناسبة اى بعدا بل من $\frac{1}{4}$ تقريرا وحيث ان هذا
التحديد المضبوط يفوق ما اعتاده عقله من العمليات لا يمكنه الوصول اليه
فعلى ذلك ينبغي أن يكون قياس القطعة التي يستعملها قديما محكما لانه اصح
جميع الاقيسة لكونه ابسطها وينقل هذا القياس غالباً من المعلم الى المتعلم
وبدائل الايام تصير الاشياء كلها متوارثة في عمليات الصناعة والعوائد
الحارية بين الناس لكن اذا تغيرت طريقة الاقيسة فان الاعداد الصحيحة
في الطريقة الاولى لا تكون صحيحة في الثانية وبالجملة اذا كان الانسان يريد
قدما من الطول لاجل قياس قطعة معه وكان قد رأى ان اباه او معلمه فرض
لقياسها قدما فكيف يطلب منه انه يفرض لها قياساً آخر غير متر واحد منقسم
الى ثلاثة احدى عشر من مائة واربعه واربعين من القدم ومائتين
وسنة وتسعين من الف من مائة واربعه واربعين منه اى من القدم المذكور
وبناء على ذلك اذا قال له بعض العارفين بالابعاد الحقيقية للقطعة المطلوب
قياسها مثلاً لا يصح أن يكون القياس المقروض لهذه القطعة اثني عشر قيراطا
محوّلة الى امتار بل بحسب ما ظهر لى من العمليات المتبصرة من النظريات
يكون ثلاثة دسمترات او ثلاثة دسمترات ونصف او نحو ذلك يظن ان قواعد هذه
تغيرت بالكلية

ومن المؤلفين الذين ذكروا في كتبهم الاقيسة الجديدة من بين مقادير الاشياء

بهذه الاقيسة و اضاف اليها نفس تلك المقادير بالاقيسة القديمة وحيث ان هذه
الاقيسة القديمة مستعملة كثيرا عند معظم القراء نتج من ذلك ان المؤلفين
بمطالعة تلك الكتب الذين يقتصرون على ما يكون من الاشياء قليل النعب
لا يميلون الا الى الاقيسة القديمة دون غيرها

ويظهر لنا سبب آخر جدير بالذكر هنا وحاصله انه حيث لم يكن ادراك الحافظة
الاجرد تخيل لزم ضبط المقادير المذكورة في اللغة المستعملة عندنا بكثرة وجاهل
هذا السبب رأينا كثيرا من الناس من يعتقدان ضبط الاقيسة الجديدة سبب
من ضبط المقادير المتساوية المبينة بالعنوان القديم بل اتفقت كلمتهم على تأييد
هذا التحيل وكما كانت المقادير مبينة باعداد بسيطة او صحيحة من الاقيسة
القديمة نشأ من الاقيسة الجديدة التي تكاد تكون صماء مع الاقيسة الاخرى
القديمة اعداد صعبة وربما كانت المتضادة التي يلجأ اليها القارئ بين هذه المقادير
المتضاربة من بعضها معضدة لاقع الطريقين

ومن المؤلفين من اقتصر في تأليفه على الاقيسة الجديدة دون غيرها الا انهم
لم يراوا في الغالب يقتدون بسلفهم من المؤلفين في كوتهم يعملون جميع
العمليات الاصلية على مقتضى الاقيسة القديمة فتشأ عن ذلك انهم عوضا
عن أن يتحصل معهم من الاقيسة الجديدة اعداد صحيحة لم يتحصل معهم
الا كسور وصاوها الى درجات تقريبية لاجدوى لها لكونهم تجاوزوا حد
الصحة في كل من انواع العمليات

فعلى ذلك كان يلزم في جميع الفنون عند اختراع الاقيسة الجديدة عمل جداول
جديدة تكون صحيحة الاعداد على مقتضى الاقيسة المذكورة لانه يتحدث عنها
المعلومات والخواصل الضرورية التي تكون المعلومات فيها نتائج لازمة
فاذن تكون منافع اختبار الطريقة الجديدة كثيرة ومضاره قليلة يمكن ازالتها
في قليل من الزمن

وينبغي أن نشرح هذه التصورات شرحا موضحا فنقول
اذا كان هنالك مله متعبة جرة في صناعة من الصناعات لزم ان الفنون التي

تركيب هي منها تكون مرتبطة ببعضها ارتباطا كليا وقل من هذه الفنون ما لا يستند من غيره آلات ومواد أولية بل منها ما الغرض الاصل منه كفاية هذه الحاجة وتلك الفنون هي التي ينبغي اعتبارها ومراعاتها دون غيرها والتي يجب ادخال طريقة الاقيسة الجديدة فيها بجميع ما يمكن من الوسائط مع تحويل مائر المقادير ومائر ابعاد محصولاتها الى اعداد صحيحة بالنسبة الى تلك الاقيسة فلي ذلك كان يلزم اما أن تكسر انواع الصب والمساحب والقوالب او تنتظرها حتى تنكسر بنفسها وتعملها ثانيا على موجب طريقة الاقيسة الجديدة ثم يلزم ان الصنائعية لا يعملونها الا اذا وفوا بجميع الشروط اللازمة وقد يكون ذلك في الاقشة مثلاً بأن يفرض لها متر واحد او ٥ او ٦ او ٧ دسمترات من العرض وبالجملة فكان على من ادخل طريقة الاقيسة الجديدة في الفنون أن يمارس اد في تفاصيل تلك الفنون ويعانيتها مع التؤدة والتأني ولا شك ان ذلك فيه من المشقة ما لا مزيد عليه ومنفعته تفوق روثقه لكن يكفي من نصدي اليه من المؤلفين الجاح فيه وبلوغ المرام وتحصيل الشرف التام

ولنشرع الآن في ذكر امثلة صحيحة توضح ما سبق من الامور العامة فنقول اذا كانت الاقيسة الجديدة مخنارة في بعض الجهات فان ذلك انما يكون حقيقيا في اشغال المصالح العامة لان المنوط بهار جال لهم اليد الطولى في المعارف وحيث ان هؤلاء الرجال بالنظر لصنائعهم اهم ارتباط بالحكومة التي يأخذون منها ادوات الهندسة ~~ص~~ كانوا بالضرورة هم الذين يختارون وينشرون رسوم تلك الحكومة المتعلقة بالفنون ولنجث فيما نحن بصدده عن الدرجة التي وصلوا اليها في تلك الرسوم فنقول

لما كان مهندسو الجهادية والقناطر والجسور مجبورين بطبيعة اشغالهم وخدمهم على عمل جملة عظيمة من الحسابات او تحقيقها استحسنوا أن يتركوا من الطرق ما تكون به الحسابات صعبة وغير منتظمة ليبادروا بالاصطلاح على طريقة اخرى سهلة منتظمة كطريقة الاقيسة الاعشارية فخذدوا

جدول مقادير اشغالهم بالاقيسة الجديدة ولم يعرفوا غيرها
وقد تقدمت الهندسة البحرية في هذا المعنى تقدماً بطياً بالكلية فانه ظهر
مع المشقة بعد اربع سنين جدول ابعاد الاخشاب بالاقيسة الجديدة
ومع ما يوجد في هذه العملية الاولى من العيوب التي لاتعد ولا تحصى
كتطويل العمل جدا في تكعيب كمية عظيمة من الاخشاب اللازمة
لعمارة السفن اذا اقتضى الحال تكعيبها بموجب الاقدام والقراريط ونحو ذلك
بخلاف التكعيبات المترية لظهور سهولتها فالاخشاب الواردة لا تقاس
الا بالاقيسة الجديدة في ميناء الدولة لكن يلزم لاجل تطبيق الاقيسة الجديدة
على فن عمارة السفن بذل الهمة والشغل الجسيم ويلزم ايضا عمل قوائم
تتضمن مصاريف السفن والقرايط وسائر انواع السفن باعداد صحيحة
مع بيان الابعاد المحولة لكل قطعة من اجزاء السفينة على وجه التفصيل
وبالجملة فيلزم نشر هذا الشغل الجسيم في جميع القنون البحرية وهي التي
تكون محصولاتها عند المهندس اصلا لاشغاله كالصواري والخيال والبكر
والنراعات وغير ذلك وحيث انهم لم يجروا هذه العمليات الاولى اصلا
ترتب على ذلك انهم استعملوا المتر في الميناء الفرنسية زمانا طويلا ثم قسموه
تقسيمًا ثانويا الى اقدام وصار العمل على تلك اقدام وهذه الاقيسة ذات
الوجهين هي عين ما في الكتب المتقدمة قريبا التي ذكرت فيها الاقيسة مثني
على وجه بحيث لا يراجع فيها الا الاقيسة القديمة

ولكن لما صارت السفن والقبائل تحت ادارة الملتزم كبير مونت تونير
وكان من اقدم تلامذة مدرسة المهندسخانة الفرنسية حصل في ذلك تغيير
عظيم وذلك انه صدر عنه امر بانه من الآن فصاعدا لا ينبغي أن تستعمل
الاقيسة القديمة في ميناء فرنسا ولا ترساناتها ولا في القبائل وحكم
باطال الاقيسة التي تدل من جهة على تقسيمات الاقيسة القديمة ومن اخرى
على تقسيمات الاقيسة الجديدة فانظر الى هذه المنافع البطيئة المحققة الناشئة
عن المدارس العظيمة التي يكتسب منها الشبان معارف متسعة متينة لكونها

تؤثر فيهم تأثيرا يزداد على عمر السنين حتى يكون فيهم استعداد الحكم بعد تبين
دروسهم بهذه المثابة ويحصل بهم قنع لم يكن يعرف قبل ذلك

ومن المصالح العامة ما يكون فيه تأثير الموانع الآتية أقوى من تأثيرها
في غيره وذلك ان الاصل الذي يتعلق به ماعداء من الاصول في فن الطوبجية
هو نقل الكلة او عيارها واما اقيسة المدافع وجبضاتها و ذخيرتها وعرباتها
فذلك كله نتيجة ضرورية من ذلك الاصل غير ان انقال الكل الميئنة باعداد
صحيحة بالنسبة للاقيسة القديمة لا تكون باقية على حالها بالنسبة للاقيسة
الجديدة وعليه فاتسمى مثلا المدافع التي عيارها ٢٤ رطلا من الرصاص
فلا يصح أن يقال لها مدافع من التي عيارها ١٢ كيلو غراما لان ذلك
من قبيل الخطأ فان ١٢ كيلو غراما اكبر من ٢٤ رطلا ولا يصح ايضا
أن تسمى بالمدافع التي عيارها ١١ كيلو غراما لان ذلك من قبيل الخطأ
ايضا فان ١١ كيلو غراما اصغر من ٢٤ رطلا فاذا سميت بمدافع
عيارها ١١ او ١٢ كيلو غراما كانت هذه التسمية فاسدة وعليه
فتكون تسمية ذخيرتها وجميع معلوماتها المرتبة بموجب انقال الكلة
فاسدة ايضا وهذه المشكلات محققة لا خفاء فيها فمن المعلوم ان صناعة
المدافع والكل مع الاتقان والسرعة لا تمنع من زيادة نقل الكل فربما تجاوز
هذا النقل عدد الارطال المين لعيارها وبذلك يقرب العدد المذكور المين
اعيار الابوس والمدافع من نصف الكيلوغرامات

ولما ظهرت طريقة الاقيسة الجديدة لم يظهر في فن الطوبجية من الاحوال
ما يحصل فيه قابلية لان يحدث فيه تغيير عام فاذا اخذت الطريقة العسكرية
الفرنجية في اتساع جديد ولزم لها انشاء معامل ومسابك لم تكن موجودة
في الاقيسة القديمة التي كانت آلتها اذالك غير معروفة في المصالح
لاتساع الانقال وتقدمها على وجه لم يكن قبل ذلك فلم لاتصنع معامل
جديدة بموجب معايير ٤ انصاف كيلو غرامات او ٦ او ٨ الخ
عوضا عن أن تصنع بموجب معايير ٤ ارطال او ٦ او ٨ الخ فان

صنعها بموجب المعايير الاولى يترتب عليه في اسرع وقت كثرة عدد المدافع الجديدة حتى لا تمكن المضاهاة بينها وبين المدافع القديمة ويحصل من الاعتناء بهذا الامر ابطال الاقيسة القديمة وخروجها عن الخدمة العسكرية بالكلية وبذلك يحصل تغير عظيم في الاقيسة بدون أن يفشأ عنه تلف ولا بذل جهد فاذا كان يخشى من كثرة المعايير الوقبية التي هي نتيجة هذا الابتداع فلا شك انه يمكن أن تجعل اسلحة بعض الحصون وبعض الجيوش من المدافع القديمة واسلحة الاخر من الجديدة لان هذه التغيرات تستدعي ضرورة نقل بعض المدافع غير انه عند نقل المدافع القديمة من الحصون المأمونة الى الحصون المخوفة او الايات العساكر المتقلة وكذلك عند نقل مدافع المعامل الجديدة الى الحواصل والجنايات والحصون التي تكون قليلة الخطر ونقل المعايير القديمة البحرية دائما الى السفن والمحاظلة بالجديدة على السواحل ثم على ججسات الميناء العظيمة يحدث من التأثير الطبيعي للحرب تغير لا يعد غريبا الا عند ذوي العقول القاصرة

فان قيل هل هذا التغير يمكن الآن فلنأتم لامانع منه فان هذه الوسائط بعينها توصل على عجز الازمان الى نتائج واحدة ويكفي في ذلك تغير قطر آلة ثقب المدافع تغيرا لا تقا وبما بقي يتغير بنفسه

وبالجمله فلا مانع من ادخال اقيسة الامتداد الجديدة في فن الطوبجية سواء حصل تغير او لم يحصل ولا ارتباط لهذه الاقيسة بصنع الانتقال وليست معايير المدافع التي قدرها ٤ ارباط او ٦ او ٨ الخ مبنية باعداد صحيحة من القارار يط كما انها لم تبن بالستمر وكذلك بعض مقاييس اخرى وربما كانت هذه العملية عظيمة اذا كان احدا ضابط هذه الاسلحة الشهيرة يقوم الاقيسة القديمة الثابتة بالممارسة كالميكانيكي والمهندس ويحولها الى الاقيسة الجديدة باعداد بسيطة فان ذلك لا يخلو عن فائدة ولا شك ان هذه التقدّمات هي نتيجة هذا المشروع النفيس وتداول الازمان والقوائد الطبيعية التي تحدث عن هذا الشغل تجبر جميع الجيوش على اختيار الاقيسة المذكورة ولا بد انه فيما بعد

يترتب على صحة المعايير تقدم في اشغال فن الطوبجية
 فاذا استعملت الاقيسة الجديدة في المصالح العامة وصارت مقبولة فيها كان لها
 بذلك دخل في بقية الاشغال العامة وجميع الفنون المدنية المرتبطة بها ارتباطا
 ضروريا وهي مجموع الفنون الرياضية تقريبا وقد كانت مستعملة قبل ذلك
 في فنون الكيمياء مع الفائدة التامة فان معظم من مارسوا اشغال هذه الفنون
 المتنوعة كانوا ينشرون ما اكتسبوه من المعارف شيئا فشيئا ويتداول الايام
 نزول الموانع الاخرى
 ولما فرغنا من الكلام على ما يترتب على التغيير الحاصل في مقدار الاقيسة
 من الصعوبات وجب الآن أن نسرع في ذكر صعوبات تغيير العنوان
 ولتذكرها في مبادئ هذا الدرس فنقول

*(الدرس الثاني) *

في بيان ما بقي من الاقيسة وفي قوانين التحرك الاولية وتطبيقها
 على الآلات

قد تقدم ما يقضي بصحة الادلة التي بها اختيرت العناوين المستنبطة من اللغات
 القديمة وقد كانت هذه الادلة في غاية الدقة والعموض بحيث لم يدركها جم غفير
 من الناس حتى قالوا فيها بينهم لم اختاروا هذه الاسماء التي لا يعلم تأويلها
 الا الجهابذة الراسخون في العلم لم يفهم ما يحدث عن كل تغيير يحصل في مقدار
 الاقيسة من المشكلات القوية مع قطع النظر عما يتولد عن العناوين الجديدة
 من الموانع وهل مثل هذه الاصطلاحات لسكافة الناس بل لا مانع انه كلما سلك
 الانسان في التعبير عن المكرر وقاسمه بالفاظ مركبة من كلمتين دالتين على نوع
 الوحدة واختصارها طريق الدقة والعموض كانت هذه الالفاظ الغير الجلية
 اسرع الى النسيان وعدم الرسوخ في الذهن فيختلط عليه دائما هذه الالفاظ
 الكثيرة المنتهية بكلمة واحدة نحو ملجتر و ستمتر و دستمتر ولكن من ذا الذي
 يرى ان مثل هذه الاعتراضات الواهية تظهر على الحقيقة والصواب في الولايات
 التي ينبغي لها المباحة والتفاخر بوضع قواعد الاقيسة المستحسنة العظيمة

واذا لم يندل الجهد في تأييد ما ذهبنا اليه في شأن الاقيسة حتى تكون مقبولة
 عند جميع الملل فهل ما عدانا من الملل يؤيد هذا المذهب الذي لا ينسب اليه
 هنا ولا مانع أن نضيف الى تلك الادلة التي لا يرجحها الاقليل من ارباب
 العقول هذه الادلة وهي انك اذا لم تغير اسم الاقيسة التي تركتها فكيف تغير
 المقادير المبنية اولا بالاقيسة القديمة ثم بالاقيسة الجديدة وهل يحصل ذلك
 الا بواسطة كتابة اقيسة قديمة واقيسة جديدة دائما ولكن الكسل يبعث الناس
 على الاختصار على انصاف الاسماء الوجيزة الدالة على الاقيسة فانك ترى
 بعض تجار القريح اجتنابا لتحمل الشقة في النطق بجميع حروف كيلوغرام
 مثلا يقتصرون على صدرها فيقولون كيلو فعلى ذلك لو سلكوا هذا المسلك
 في الكيلوتر و الكيلومتر لقالوا فيها ايضا كيلو وبذلك لا يعرفون ما ارادوه
 بهذه الكلمة واما نحن معاشر الرياضيين فكلانا مفيد لالبس فيه بحيث
 لا يعوقنا عن المرام مثل هذا الالتباس الهين فيكتفي حينئذ باطلاق اسم
 القدم على القدم القديم او ثلث المتر تقريبا ومن هنا يقع خلطنا فيما اوقنا فيه
 اقيسة سلفنا عابا من الحيرة وعدم الوقوف على الحقيقة * مثال ذلك استعمالهم
 لفظة غلو التي هي على اربعة انواع بدون أن يميزوا المراد من تلك الانواع
 فاننا لا ندري بايها قدرت المسافات التي نراها في كتبهم * فهذا هو الغرض
 الذي نصدينا اليه وناه بما يجب علينا لخلقنا وكيف يصح ان الاسماء المصطلح عليها
 في علم من العلوم يعسر حفظها وثباتها في الذهن اذا كانت مركبة من خمس
 عشرة كلمة فصاعدا وليس اتانود المبالغة في صعوبة مثل ذلك حتى تقتصر بانه
 من قبيل المعجز الذي لا يارى ولا يطلب وهل ينكر ان تقدم العلوم منذ قرن كان
 سيبا في استعمال كثير من الاصطلاحات الماخوذة من اللغة اليونانية
 وادخالها في العرف الخاص والعام فن ذا الذي لا يعرف البارومتر و الترمومتر
 وكيف يسهل حفظ هذين الاسمين دون الكيلومتر مثلا

وهل ثم من الصبيان من لا يحفظ عدة اسماء صعبة مثل كسموراما و ديوراما
 و بانوراما و جيوراما و نيسماغوري ويعرفها بدلولاتها حق المعرفة

فأوجه صعوبتها دون متر ودستور ونحوهما إلا أنها لا تقل إلا على الصور والظلال القابلة للتغير القريبة الزوال من الذهن بخلاف للتوفروعه فإنها تدل دائما على الأطوال المادية التي يمكن تناولها باليد ومساورها بمجرد الوقوف عليها بحيث لا يعتريها بعد ذلك تغير ولا زوال ولنعترف الآن أننا قد اتهمنا كما واعتنانا بما لا يجدي فعلا من أمور اللهو واللعب تسكسل عن الالتفات إلى ما لا يتعنه في حاجتنا الضرورية

ولاحاجة إلى البحث عن أسماء مهملة اجنبية من الفن فهي سهلة الحفظ حيث يوجد إلى الآن الفاظ كثيرة مصطلح عليها في الكيمياء عند جميع الفرق فأن بعض من لا يعول عليهم من أرباب العقاقير والجراحين الذين في الأرياف لم يرأوا إلى الآن يعرفون أصول هذه الألفاظ ومع ذلك فلو أهمل الكيمائيون من الفرنسيين الألفاظ العلمية النفيسة ليسهل تناولها على أرباب العقاقير ومن يدعى معرفة الجراحة من جراحى الأرياف وكذلك لو سلك هذا المسلك أهل النيسا وإيطاليا والآنكلير واصطلحوا على الفاظ توافق لغاتهم لتنوعت الاصطلاحات العلمية التي من شأنها الوحدة إلى أنواع عديدة ملتبسة ببعضها لکنهم شرعوا في مشروعات مجودة حيث اصلحوا وحرروا ما لا يحصى من الألفاظ الاصطلاحية في ظرف عشر سنوات صارت هذه الألفاظ مقبولة مستعملة عند سائر الأمم التي تمارس العلوم الطبيعية وبما يجب التنبيه عليه زيادة على ذلك أن هؤلاء العلماء المشهرين من ساعد الجد والاجتهاد أخذوا في تجديد علومهم كلها بدون التفات إلى ما يثبطهم عن ذلك وعليه فيلزم تجديد علم الأقبية بسائر أنواعه وفروعه وهذا هو الغرض من كلامنا سابقا ولاحقا

وكأن الكيمائيين لما اعتنوا ثانيا بجميع الحوادث ليبتدوا مع الضبط نسب القواعد الناشئة عنها تلك الحوادث كان ذلك وسيلة إلى امتكشافات كثيرة جدا كذلك إذا صنع الإنسان جداول مضبوطة تحتوى على سائر أنواع المقادير التي تكون عبارة عن معلومات الفنون فكان ذلك أيضا واسطة

في وصول العلم الى درجات الكمال وتطبيق العمليات على قواعد حسابية لم يكن جري فيما دلت من قبل فتكون هذه الاشغال منشأ التقدمات المستقبلية

*(بيان قوانين التحرك الاولى) *

يظهر من رصد الاجسام المتحركة على الارض ومن مجموع الكواكب السيارة عدة قواعد اصلية ينبغي ذكرها هنا ليتفرع عليها البيان الاتي فنقول (اولا) اذا لم يعرض للجسم الساكن شيء يحركه فانه يستتر على سكونه لانه في هذه الحالة لا مقتضى لحركته في جهة ما فعلى ذلك اذا انصف الجسم بالحركة بعد السكون فلا بد أن يكون قد عرض له سبب او جب فتحرك الى احدي الجهات وهذا العارض هو المسمى بالقوة والغرض الاصل من علم الميكانيكا هو معرفة كيفية تأثير القوى في الاجسام المنفردة او المرتبطة ببعضها بالنظر لاورضاعها وصورها

(ثانيا) اذا اخذ جسم في التحرك في اتجاه ما بسرعة ما فاذا لم يكن هناك ما يمنع تحركه استتر على الحركة في هذا الاتجاه مع السرعة المذكورة بمعنى انه يقطع مسافات متساوية في ازمة متساوية وهذا ما يسمى بالتحرك المنتظم او المنتسق

ومتى غير هذا الجسم اتجاهه او سرعته فان التجربة تدل على ان هذا التغير حاصل من تأثير موافق او مخالف واقع من قوة جديدة

وكذلك اذا كان الجسم الجادى العادم للحركة غير قابل للتحرك فانه يعلم من ذلك انه لا يقبل الحركة بمجال فعل ذلك اذا كان الجسم الجادى متحركا فانه يستتر على حركته بمعنى انه يقطع في اتجاه واحد مسافات متساوية في زمن واحد * والسرعة هي النسبة التي بين المسافة المقطوعة والزمن

مثلا اذا جعلت الدقيقة وحدة للزمن والمتر وحدة للطول يقال ان الجسم الذي يقطع مترا في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ١ والجسم الذي يقطع مترين في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٢ والجسم الذي يقطع ثلاثة امتار في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٣ وهكذا

وقد دلت التجربة ايضا على دعوى اخرى شهيرة جدا وهي انه يحدث عن قوتين واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد (كفرسين من بوطين في قطار واحد بلتر عربته مثلا) عين التأثير الحادث من قوة واحدة مساوية لمجموع هاتين القوتين واقعة على الجسم المذكور في اتجاه واحد ايضا وهذه القوة هي التي يطلق عليها اسم المحصلة لانها محصلة من قوتين اخرين يسريان بالركبتين اولانه يتصل منها عين النتيجة للمحصلة من هاتين المركبتين واما في صورة العكس وهي ما اذا كان قوتان واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد لـكن في جهتين متضادتين فان الجسم يتحرك كما لو كان مندفعاً بقوة واحدة محصلة مساوية لفاضل القوتين المركبتين ومتجهة الى جهة كبراهما

وعلى ذلك يشاهدان العربية عند الهبوط بالسرعة يحلون القوس من أمام العربية ويربطونه خلفها ليجرها القهقري وفي هذه الصورة لا تكون القوة المحركة الا كقوة قوس آخر يجزها الى الامام ناقصة قوة القوس الذي يجزها الى خلف عوضا عن أن تكون هذه القوة اعني المحركة قوة فرسين

* (بيان التوازن) *

اذا كانت القوة الجاذبة الى جهة الخلف مساوية للقوة الجاذبة الى جهة الامام فان فاضلهما يكون صفرا ولا يتحرك الجسم الى جهة احدهما ولا الى جهة الاخرى ومن ذلك يحدث ما يسمى بالتوازن اعني بالسكون القهقري وهي حالة مخالفة للسكون الطبيعي الذي يكون باقيا على حالة واحدة ما لم يؤثر في الجسم قوة تجبره على التحرك

فاذا كانت محصلة عدة قوى يصادها قوة جديدة مساوية لها ومتجهة الى جهة مضادة لجهتها فانه يحدث من ذلك توازن وهذه قاعدة شهيرة جيدة تسوغ ضم للمسائل التي يكون الغرض منها البحث عن النتائج التي يحدث بها التحرك الى مسائل التوازن

وعوضا عن اعتبار قوتين مؤثرتين دون غيرهما في اتجاه واحد يمكن

اعتبار ٣ او ٤ او ٥ الخ او عدد ما من القوى وحيث ان يلزم لاجل
تحصيل المحصلة امر ان احدهما اخذ مجموع سائر القوى التي تجذب او تدفع
الى جهة الامام فانهما اخذ مجموع سائر القوى التي تجذب او تدفع الى جهة
الخلف وبذلك يتحرك الجسم في جهة المجموع الاكبر كما يكون مدفوعا
او يجذوبا بقوة واحدة مساوية لقاضل هذين المجموعين

(ولنفرض مثلاً عربته جل بحرورة ثمانية افراس في قطار واحد في كانت جميع
هذه الافراس مربوطة كلها اجهة الامام فان العربته تكون بحرورة بقوة فرس
واحد مساوية لقوة الافراس الثمانية ثم اذا حل العربي ثلاثة من هذه
الافراس مثلاً وربطها خلف العربته لتجربها القهقري فان التحرك الكلي
يكون اولاً عين ما اذا كان هناك فرس واحد مربوط في جهة الامام قوته
مساوية لقوة الافراس الخمسة وفرس آخر مربوط في جهة الخلف قوته
مساوية لقوة الافراس الثلاثة المذكورة وثانياً يكون مساوياً ايضا
للتحرك الحادث من فرس واحد قوته مساوية لقاضل الافراس الخمسة
المربوطة في جهة الامام والثلاثة المربوطة في جهة الخلف وهذا التحرك
بالضرورة يكون واقعا في جهة خمسة الافراس اذا كانت قوتها متساوية)

وما ينبغي حفظه والاهتمام به قاعدة ثالثة وهي ان لازم قوة ما التحرك جسم
بسرعة ما اعني لنقله الى مسافة معلومة في زمن معلوم تنصف هذه القوة
لا يتقل الجسم المذكور في هذا الزمن الا الى نصف المسافة المذكورة
وثم لا يتقله الا الى ثلثها وربعها لا يتقله الا الى ربعها وهكذا دائماً مع تناسب
واحد

وكذلك في صورة العكس وهي ما اذا كانت مدة الزمن ثابتة بالفرض فان
ضعف القوة يتقل الجسم المتقدم الى ضعف المسافة المتقدمة وثلاثة امثال
هذه القوة تنقله الى ثلاثة امثال المسافة واربعه امثالها تنقله الى اربعة امثالها
وهلم جراً

فاذا بقيت القوة ثابتة وتغير مجسم الجسم نشأ عن ذلك ما سنذكره

وهو انه في مدة هذا الزمن تنقل القوة الثابتة ضعف الجسم الى نصف المسافة وتنقل ثلاثة امثال الجسم الى ثلث المسافة واربعة امثال الجسم الى ربعها وهكذا وكذلك تنقل القوة الثابتة نصف الجسم الى ضعف المسافة وثلاثة الى ثلاثة امثالها وربعة الى اربعة امثالها في نسبة واحدة دائما

ويؤخذ من ذلك ان المجسمات الكبيرة تصعب في التحرك من المجسمات الصغيرة وهذه المقاومة مناسبة للجسم تناسبها مضبوطا بحيث تكون المقاومة مع القوة المستعملة في تحركه واحد مناسبة للجسم دائما

وحيثئذ يوجد في المادة تضاد بين التحرك والسرعة وهو مناسب للجسم وهذا التضاد الذي ينبغي ابطاله هو المسمى بالانرسى (اي الحالة الذاتية للجسم)

ويكون الانرسى المذكور في غاية الظهور عند مقابلة المجهودات التي تبذل في تحريك الاجسام الكبيرة والصغيرة ببعضها وذلك ان الطفل الصغير مثلا يحذف بعيدا عنه بعدا كافيا حصوة صغيرة وحبات من الرمل بخلاف الرجال الاقوياء فانه يمكنهم عند جمع قواهم في زمن واحد ان يحركوا قيراط واحد حملا ثقيل او قطعة من الرخام مثلا

ولننبه هنا على الكيفية القطعية التي بها يمكن ان يتحصل من القوة قيجة واحدة بطرق مختلفة فنقول

يمكن قطع الجسم المطلوب نقله الى اجزاء متساوية كاثنتين او ٣ او ٤ الخ ثم توقع القوة بتمامها على كل من هذه الاجزاء فاذا قطع الى جزئين متساويين مثلا فان كلا منهما يقل بسرعة مضعفة فاذن يكون الجزر آن المذكوران منقولين في زمن واحد كل واحد الى ثلاثة اجزاء متساوية فان كل ثلث يقل بثلاثة امثال السرعة فاذن تكون الاثلاث الثلاثة منقولة في نفس الزمن الكلي وهكذا

فاذا فرض حيثئذ ان هنالك عشرين حملا متساوية في الجسم ولزم نقل كل منها

الى مسافة معلومة بواسطة ٢٠ قوت متساوية فاذا وصلت هذه الاجمال
بعضها مثنى وثقلت بقوى متصلة ببعضها مثنى ايضا فانه يحدث الثقل ١٠
طرق عوضا عن ٢٠ الا ان العشرين جسما تكون منقولة دائما الى مسافة
واحدة في زمن واحد وقد يحصل مثل ذلك ايضا اذا وصلت الاجمال ببعضها
ثلاث اى ثلاثة ثلاثة اربع اى اربعة اربعة وثقلت بالقوى المتصلة ببعضها
ثلاث اربع ايضا

فلذلك كان على حد سواء (بالنظر الى التقويم الميكانيكى) ثقل الثقل الكلى
المذكور في عربات فرس واحد ٢ او ٣ او ٤ بشرط أن تكون
اجالها بحمل فرس او ٢ او ٣ او ٤ الخ ويكون الثقل الكلى
منقولاً دائماً بواسطة العربات الى مسافة واحدة في زمن واحد وهذا هو
سبب كون الثقالين يدفعون اجرة معينة بالكيلو غرام في نظير الثقل سواء كان
الحمل وزن قليلا او كثيرا من الكيلو غرام لان القوة الكلية التى يلزم استعمالها
في الثقل مناسبة للثقل الكلى من الاشياء المنقولة وبالجملة فهذا هو السبب
في ان الثقالين ك كانوا يدفعون للعربية اجرة واحدة على حسب تقويم
الكيلو غرام سواء كان العربية يستعملون في ذلك عربات فرس واحد
او ٢ او ٣ او ٤ الخ لان الثقل الكلى المنقول بكل عربية مناسب
للقوة الكلية للخيول المربوطة في العربية

ولاجل تحصيل تصرف القوى التى يستلزمها الجسم المنقول الى مسافة
معلومة يلزم تقويم هذا التصرف أولا بموجب ثقل الجسم المذكور وثانيا
بموجب السرعة المعدة لقطع المسافة المذكورة فيكون حاصل هذا التقويم
دالا على كمية التحرك

وقد يتقوم الثقل بالكيلو غرامات والزمن بالساعات فاذا كان كيلو غرام
واحد يقطع المسافة الماخوذة وحدة في ساعة واحدة كانت كمية التحرك = ١
واذا كان ١٠ كيلو غرامات او ١٠٠ او ١٠٠٠ تقطع وحدة
المسافة في ساعة واحدة فانها تؤدى كمية التحرك المينة مرة واحدة

باعداد ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ
 واذا كان كيلوغرام ١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ تقطع
 المسافة مرتين في ساعة واحدة فانها تؤدي كمية التحرك المثلثة مرتين باعداد
 ١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ من الكيلوغرام
 وانما اكرت هنا من ذكر الامثلة لما انها توضح ايضا اصل التعريفات
 التي ينبغي تسهيلها بقدر الامكان
 ولتسلك قبل التوغل فيما نحن بصدده على قوانين السكون والتحرك التي سبق
 تعريفها قريبا ونذكرها على وجه اجمال فنقول
 كل جسم ما كن يبقى على حاله ما لم تجبره على التحرك قوة واحدة او قوى
 متعددة

وكل جسم متحرك يبقى على حاله ما لم تعرض له قوة تمنعه من الحركة
 وكل جسم متحرك تابع لمستقيم واحد يقطع مسافات متساوية في ازمته
 متساوية ما لم تعرض له قوة اجنبية تغير ثبات تحركه وانتظامه وهذا التحرك
 هو المسمى بالتحرك المنتظم او المنتسق
 والسرعة هي النسبة الحاصلة بين المسافة المقطوعة على وجه الانتظام
 وزمن قطعها

فاذا كان زمن قطع المسافة ثابتا فالسرعة المضغفة ثبتي وثلاث ورباع تكون
 كالسافة وقد تكون ايضا على النصف او الثلث او الربع ونحو ذلك بحسب
 تقسيم هذا الزمن وبالجملة فهي مناسبة دائما للمسافة تناسباً مطردا
 واذا كانت المسافة المقطوعة ثابتة فكلما كان زمن قطعها كبيرا كانت
 السرعة صغيرة وحيث تكون نسبتهم ما منعكسة انعكاسا كليا بمعنى انه اذا كان
 الزمن مضغفا ثبتي وثلاث ورباع كانت السرعة على النصف من ذلك او الثلث
 او الربع وهكذا

واذا كانت السرعة ثابتة فالمسافة المقطوعة تكون مناسبة لازمن تناسباً
 مطردا بمعنى انها تزيد وتقص بنسبة واحدة

وفي التحرك المنتظم تكون القوة مناسبة لجسم الجسم مضروبا في السرعة
واذا تحركت الاجسام بدون مقاومة فمن حيث كونها متحركة في فراغ عظيم
تكون باول دفعة مستمرة على تحركها بسرعة واحدة في اتجاه واحد
ولكن يعرض على الارض في كل وقت كثير من الموانع والاحتكاكات
والمقاومات فتتغير دوام تحرك تلك الاجسام
فاذا تحرك الجسم تحركا متساويا نجد ان هذا التحرك يتغير بالتدريج ويؤول
امره الى الانعدام

مثلا اذا لعب اثناس بالكرة فلو لا احتكاك الارض ومقاومة الهواء لكانت
هذه الكرة بمجرد طرحها على مستواقي تتدحرج بدون ان تنقص سرعتها
لكن لا يخفى ان هذه السرعة تنقص على المستويات المصقولة وان بلغت
في الصقالة ما بلغت وتندعم في اسرع وقت

وعليه فيلزم لاجل استمرار التحرك بالنسبة للقانون ان يضاف في كل وقت
الى قوة الاجسام المتحركة قوى جديدة

مثلا اذا كان المطلوب نقل احوال في الطرق فلا يكفي في ذلك ان تحرك
هذه الاجسام مطلق تحرك بل يلزم تعويض ما تقدم بالمقاومات في كل وقت
وهو الذي يمكن تحصيله بواسطة الناس والحيوانات المعدة لنقل تلك الاحمال
وتكون كية القوى التي يلزم استعمالها في كل وقت مساوية بداهة القوة
المعدومة في الوقت المذكور وي ينبغي ان نعتبر ان مجموع ازدياد القوى المستعملة
في النقل عقب زمن معلوم مساو لمجموع القوى المعدومة بالمقاومات

فحسب ذلك اذا مشى انسان بقوة مستمرة و منا معلوما فمجموع القوى
المستعملة في هذا الزمن يكون دالا على مجموع القوى المعدومة
ويؤخذ من ذلك ان تصرف القوى يكون على حسب المسافة في الكبر
فاذا كان التحرك منتظما من جميع جهاته كانت القوى المستعملة لتحصيله
في زمن معلوم مناسبة لهذا الزمن تناسلا مطردا

وانبه حيثئذ على القادر الغاف الحاصل من جهة بين التحركات التي يمكن

ووجودها في الفراغ بدون نوع مما من الاحتكاك والحاصل من جهة أخرى
بين التحرك كالتحادثة منا على الأرض فنقول إذا اردنا معرفة مسافة سير
الكواكب السيارة او ذوات الذنب او أي جرم في السماء ولكن هذا التحرك ليس مطلقا
بنفسه فانه يكفي اخذ زنه هذه الكواكب السيارة او ذوات الذنب او الجرم
المذكور لاجل ضرب كل ذلك في السرعة ويكون الحاصل باقيا على حالة
واحدة في أي مسافة للنقل لانه لا يحتاج الى صرف قوى جديدة لاجل استمرار
النقل المذكور الا انه في الأرض ينبغي أن يضاف الى هذا المجموع الأول
على الأرض مجموع آخر يدل على القوى المددومة في كل وقت فاذا اخذ
هذا المجموع الأخير في الزيادة دائما فانه يفوق المجموع الأول حتى يمكن
اهماله وحيث يقال كما يقول متعهدو النقل ان اجرة النقل تكون مناسبة
للمسافات المقطوعة ما لم يكن هناك مانع وليست هذه الملاحظات خاصة
بالنقل بل نعمه هو واغلب ما يعرض للآلات من التحركات الناشئة عن القوى
المتنوعة وسأتي لك توضيح ذلك خصوصا في الجزء الثالث من هذا الكتاب
عند الكلام على استعمال القوى المتحركة

وقد ذكرنا ان القوة المنفردة دون غيرها من القوى تحدث التحرك دفعة
واحدة لجسم معلوم ولنفرض ان هذه القوة يتجدد تأثيرها في خلال الازمنة
المساوية

ولنرمز بحرف h الى المسافة المقطوعة بالجسم وبحرف v الى سرعة
هذا الجسم وبحرف t الى الزمن المعتبر لقطع مسافة h بسرعة v
وفي مبداء وحدة الزمن الثانية تضعف القوة التي تكرر فعلها سرعة الجسم
مثنى فيقطع في مسافة زمن t الثاني مسافة تساوي $2h$
وفي مبداء وحدة الزمن الثالثة تضعف القوى التي تكرر فعلها ايضا
سرعة الجسم ثلاثا فيقطع في مسافة زمن t الثالث مسافة تساوي $3h$
وهلم جرا

فاذن يحدث معنا للاوقات المختلفة

ط الأول زمن ط الثاني زمن ط الثالث زمن ط الرابع زمن ط الخامس
 مكسبة ١٠ سرعة مكسبة ٢٠ سرعة مكسبة ٣٠ سرعة مكسبة ٤٠ سرعة مكسبة ٥٠
 مقطوعة هـ مسافة مقطوعة ٢ هـ مسافة مقطوعة ٣ هـ مسافة مقطوعة ٤ هـ مسافة مقطوعة ٥ هـ

فيكون مجموع المسافات التي عددها م المقطوعة بالجسم في زمن ط
 تساوي بالبداية

$$\text{هـ} + \text{هـ} ٢ + \text{هـ} ٣ + \text{هـ} ٤ + \dots + \text{م هـ}$$

ولامانع من استعمال الهندسة هنا ليتضح باحد اشكالها هذه الحواصل
 النسوية للقوى فتقول

ليكن (شكل ١) مستقيم وس الرأس مقسوما الى مسافات

متساوية تدل كل واحدة منها على وحدة زمن ط ومستقيم وص
 الانفي مقسوما ايضا الى مسافات متساوية تدل كل واحدة منها على مسافة

هـ المقطوعة ملة زمن ط الاول فاذا وصلنا بين نقط التقسيم بمستقيبات

اقبية ورأسية حدث عن ذلك سلال طول كل واحدة منها مسافات هـ

و ٢ هـ و ٣ هـ و ٤ هـ الخ المقطوعة في مدة الازمنة المتوالية

المساوية لزمن ط ويكون سطح درجاتها المختلفة

وا × هـ و اب × هـ ٢ و بث × هـ ٣ و ثد × هـ ٤ الخ

لكن حيث كان وا = اب = بث = ثد فاذا فرضنا

عرض جميع الدرج مساويا للوحدة يكون سطح الدرج

بالاختصار

$$\text{هـ} و ٢ هـ و ٣ هـ و ٤ هـ الخ$$

وسطح السلال الكلي يدل على المسافة الكلية المقطوعة بالجسم

ولتفرض ان القوة الدافعة تؤول الى نصفها الا انها تضاف عدد دفعاتها

في زمن معلوم

ويحفظ وحدة الامتداد لا تكون درجات السلام الجديدة (شكل ٢) التي تدل على هذا التحرك الجديد الانصف العرض وتصبح ضعف السلام المتقدمة وكذلك لا يكون للمسافات المقطوعة في كل نصف زمن الانصف الزيادة الاصلية غير ان هذه الزيادة تكون ضعف الزيادة السابقة

ويمكن أن يفرض أن القوة الدافعة تكون محولة الى ثلث مقدارها الاصلى اربعة (شكل ٣) او خمسة الخ لكن بتجديد دفعاتها ثلاث مرات اواربع اوخمس الخ بخلاف القوة الاصلية فانها لا تتجدد الدفعات المذكورة الا مرة واحدة وحيث تكون التحركات مبنية بدرجات عرضها محول الى ثلث العرض الاصلى اربعة اوخمس الخ ولا يكون ازدياد طولها الا ثلث الازدياد الاصلى اربعة اوخمس الخ

فاذا مددنا مستقيم $\overline{وز}$ من رأس السلام الى نهايتها السفلى فانه يمر بجميع نقط ١١ ٢ ب ٣ ج ٤ د الخ التي تحدد اسفل درجات السلام وعلى ذلك تكون المسافات المقطوعة عقب ازمنة

$$\overline{ط} \text{ و } \overline{٢ ط} \text{ و } \overline{٣ ط} \text{ و } \overline{٤ ط} \text{ الخ}$$

$$\overline{١١} \text{ و } \overline{ب ب} \text{ و } \overline{ث ج} \text{ و } \overline{د د} \text{ الخ}$$

ثم ان نسبة اضلاع $\overline{وا}$ اذن لا تتغير متى اخذ نصف ضلع $\overline{وا} = \overline{ط}$ ونصف ضلع $\overline{ا ب} = \overline{ه}$ وثالث $\overline{وا}$ وثالث $\overline{ا ب}$ وربع $\overline{وا}$ وربع $\overline{ا ب}$ لاجل عل سلام (شكل ٢) (وشكل ٣) الدالين على التحركات التي تقدم ذكرها

ولا يتغير اتجاه $\overline{وا}$ و $\overline{ب}$ و $\overline{ج}$ و $\overline{د}$ الخ متى فرض انقاص مقدار القوة في نسبة واحدة مع كثرة دفعاتها مدة زمن معلوم فاذا تكررت الدفعات وكانت القوة صغيرة جدا في كل دفعة واقضى الحال اقسام $\overline{وا} = \overline{ط}$ و $\overline{ا ب} = \overline{ه}$ الى اجزاء متساوية دقيقة جدا فان وجهة سلام ١١ و ٢ ب و ٣ ج و ٤ د الخ

وحيثئذ تكون في التحرك المعتبر عندنا سرعتا $\overline{و ق}$ المكتسبتان

عقب زمنى $\overline{ط و}$ مناسبتين لهذين الزمنين

وزيادة على ذلك بمقتضى الدرس الخامس من الهندسة يكون

سطح $\overline{وس ز}$: سطح $\overline{وس ز}$:: $\overline{وس ر}$: $\overline{وس}$

او $\overline{ه}$: $\overline{ه}$:: $\overline{ط ه}$: $\overline{ط}$

فاذن تكون المسافات مناسبة لمربعات الازمنة المعتدة لقطعها

وعليه فيقال حيث كانت الازمنة $\overline{ا ط}$ و $\overline{ا ه}$ و $\overline{ا ز}$ و $\overline{ا ح}$ و $\overline{ا د}$ و $\overline{ا و}$ و $\overline{ا ق}$ الخ

فان المسافات المقطوعة تكون $\overline{ا ه}$ و $\overline{ا ز}$ و $\overline{ا ح}$ و $\overline{ا د}$ و $\overline{ا و}$ و $\overline{ا ق}$ الخ

وحيث كان في مثلثي $\overline{وس ز}$ و $\overline{وس ر}$ المتساويين

سطح $\overline{وس ز}$: سطح $\overline{وس ز}$:: $\overline{وس ر}$: $\overline{س ز}$

او $\overline{ه}$: $\overline{ه}$:: $\overline{ق ه}$: $\overline{ق}$

فالمسافات المقطوعة في ازيمة معلومة تكون حيثئذ مناسبة لمربعات السرعة

المتعددة المكتسبة في نهاية هذه الازمنة

وبناء على ذلك

ففي عقب ازيمة $\overline{ا ط}$ و $\overline{ا ه}$ و $\overline{ا ز}$ و $\overline{ا ح}$ و $\overline{ا د}$ و $\overline{ا و}$ و $\overline{ا ق}$ الخ

تكون السرعة المكتسبة $\overline{ا ه}$ و $\overline{ا ز}$ و $\overline{ا ح}$ و $\overline{ا د}$ و $\overline{ا و}$ و $\overline{ا ق}$ الخ

والمسافات المقطوعة $\overline{ا ه}$ و $\overline{ا ز}$ و $\overline{ا ح}$ و $\overline{ا د}$ و $\overline{ا و}$ و $\overline{ا ق}$ الخ

فاذا فرض انه في عقب زمن $\overline{ط}$ المين بخط $\overline{وس}$ (شكل ٥)

بطل عمل القوة الدافعة من اول وهلة فان الجسم يتحرك بسرعة $\overline{ق}$ الثابتة

المبينة بخط $\overline{س ز}$ وحيثئذ تكون الخطوط الاقصية المتساوية وهى $\overline{س ز}$

$= \overline{س ز} = \overline{س ز}$ دالة على هذه السرعة الثابتة

وسطح مثلث $\overline{وس ز}$ يدل على المسافة الكلية المقطوعة مدة زمن $\overline{ط}$

بعده قوى دافعة صغيرة جدا تاثيرها ثابت على الدوام

وسطح مستطيل $\overline{س ز ز س}$ الذى هو ضعف مثلث $\overline{وس ز}$ يدل

على المسافة الكلية المقطوعة مدة زمن ثان مر موزله بحرف ط بسرعة
ثابتة مكتسبة عقب زمن ط الأول
وعلى ذلك اذا جددت قوة ثابتة صغيرة جدا دفعاتها في مسافات صغيرة متخللة
بين ازمدة متساوية فان المسافة الكلية التي قطعها الجسم بتلك القوة في مدة
زمن ط تكون نصف المسافة التي كان يقطعها هذا الجسم في نفس زمن ط
لولا تجديد القوة المذكورة دفعاتها

(بيان التناقل)

قد دلت الطبيعة على مثال عظيم متعلق بالتكرار المستمر الحاصل من القوة
الدافعة الثابتة وهي ان لجميع الاجسام انجذابا وميلا الى مركز الارض فتكون
القوة المذكورة محسوسة متى منعت عن جذب الجسم المطلوب تقله وتكون قوة
التناقل في كل وقت معدومة بمقاومة الجسم ثم تتجدد ثانيا وقتا بعد آخر
بتأثير مستمر واحد

وعليه فجميع النتائج المتحصلة بواسطة القوى التي تتجدد دفعاتها كل وقت
توافق ايضا قوة التناقل

وحينئذ اذا سقط جسم بدون معارض ولا مانع حدث عن ذلك اربع حالات
(أولا) ان السرعة المكررة المكتسبة تكون مناسبة للازمنة المعدة
لاكتسابها

(ثانيا) ان المسافات الكلية التي يقطعها الجسم المذكور تكون مناسبة
لمربعات الازمنة المعدة لقطعها

(ثالثا) ان تلك المسافات الكلية المقطوعة تكون مناسبة لمربعات السرعة
المكررة المكتسبة بالجسم عقب كل مسافة مقطوعة

(رابعا) اذا اخذ الجسم عقب زمن معلوم سرعة ثابتة مساوية للسرعة التي
اكتسبها في هذا الزمن بعينه فانه يقطع مسافة كلية ضعف المسافة التي قطعها
وذلك مع ازدياد سرعته بالتدريج

وفي اى مكان من الارض تكون المسافة التي يقطعها الجسم عند سقوطه

في اول ثانية مساوية ٩٠٤٣٩٧٥ و ٤ فلا مانع حيثئذ من ان سرعته
المكتسبة في عقب الثانية تجبره على قطع ضعف تلك المسافة مع الاستظام

بمعنى انها تكون مساوية ٨٠٨٧٩٥ في الثانية الواحدة
وفي عقب ١٠ نوان تكون المسافة التي يقطعها الجسم عند وقوعه بدون
معارض مساوية ١٠٠ مرة للمسافة التي يقطعها مدة الثانية الواحدة
اي انها تساوي ٤٣٩٧٥ و ٤٩٠ وتساوي ايضا في الدقيقة الواحدة
 ٨٣١ و ١٧٦٥٥

ولا بد لاجسام الساقطة من شئ عظيم تصل به سرعتها الى هذه الدرجة وذلك
لمقاومة الهوائها (كما سيأتى في استعمال القوى المحركة المذكورة في الجزء الثالث)

* (تطبيق) *

اذا لم تكن المسافات المعدة للقطع كبيرة جدا واستعملت اجسام كبيرة جدا
فانه يمكن بواسطة الآلة الحسائية الدالة على اخماس الثانية الواحدة قياس عمق
البئر وارتفاع الحائط والقبعة ونحو ذلك قياساتقرينا مستعملا فاذا خلى
الجسم ونفسه للوقوع وعدت الثواني وكسورها التي يقطع بها الجسم المذكور
هذه المسافة فان مربع هذا العدد يضرب في ٩٠٤ و ٤ الخ ويكون حاصل
ذلك هو المسافة المقطوعة

ولنبه على ما بين الهندسة والميكانيكا من الارتباط الذي يعلم به ارتفاع عمارة
او عمق معدن بواسطة النظر في الساعة ويعلم به ايضا طول زمن مضى بواسطة
قياس المسافة قياسا بسيطا فنقول قد استبان من البندولات مثال شهير في شأن
الارتباط الحاصل بين العليين المذكورين اللذين جمعت قواعدهما وتماثلتهما
لتتضح بها سبل الصناعة وتسهل مزاولتها
فاذا عرفت ما ذكره لك في شأن تأثير ايدى الاهوان وآلات الدق وضرب

البنقود والمطارق ونحو ذلك انضم اليهم فوصلوا بواسطة القنون الى تطبيق
قوانين مقروط الاجسام وتوسيع دائرتها والاهتمام بشأنها تطبيقا مفيدا
وان معرفة هذه القوانين عمالدة منه

ولنعرض انه حين شروع التناقل في اندفاعاته المتكررة كل وقت يكسب
الجسم سرعة ما وفي ذلك ثلاث صور

الصورة الاولى اذا كانت السرعة الاصلية متجهة جهة التناقل فحيث كانت
ثابتة فانها تنضم الى السرعة المتعددة للحادثة من التناقل المذكور

وفي هذه الصورة يطلق على التناقل بالنظر للاجسام التي تزداد سرعتها وتسير
مع العجلة في كل وقت اسم القوة المعجلة

الصورة الثانية اذا كانت السرعة الاصلية متجهة الى جهة مضادة لجهة
التناقل فان هذا التناقل يخص السرعة المذكورة في كل وقت وحيث كان
التناقل المذكور يعطل سير الجسم بلا انقطاع اطلق عليه اسم القوة المعطلة
البطيئة

مثلا اذا اطلقنا طليجة من اعلى الى اسفل فان الرصاصة الخارجة منها تقع
في مبداء الامر بالسرعة الحادثة لها من البارود المشتعل ثم تزداد هذه السرعة
بتأثيرات التناقل المتكررة المشابهة لتأثير القوة المعجلة

واذا اطلقنا طليجة من اسفل الى اعلى فان الرصاصة ترتفع في مبداء الامر بالسرعة
الحادثة لها من البارود المشتعل غير ان تحركها يعطل في كل وقت بما يحدث
عن التناقل من التأثير المتجدد المشابه لتأثير القوة المعطلة

وفي عقب زمن ايا كان تبطل سرعة الرصاصة الاصلية بتأثير التناقل المتضاد
فتمكث هذه الرصاصة ساكنة زمنا ثم يهبط بتأثير التناقل من الوضع الذي كانت
فيه وهي ساكنة ويستمر التناقل على ذلك كقوة معجلة

وفي هذا التحرك الجديد تزيد قوة التناقل في كل وقت بكمية من التأثير مساوية
بالضبط للكمية المنقوصة مدة صعود الرصاصة وعليه ففي مدة الزمن
المذكورة تقطع الرصاصة مسافات متساوية قبل الوقت الذي تصل فيه

الى اقصى درجة من الارتفاع وكذلك بعده سواء كانت صاعدة اوهابطة
وتكون معصوبة دائما بسرعتها المكتسبة اذا وصلت الي ارتفاع واحد
سواء كانت صاعدة اوهابطة ايضا

ويجب حفظ ما ذكرناه لانه من اعظم قواعد علم الميكانيكا فائدة وسيا في ذلك
ما يدل على اهمية تطبيقاتها المتعددة على الصناعة
والسرعة المدومة بالرصاص الصاعدة مناسبة للزمن الماضي منذ اطلاقها
وتقصان المسافة المقطوعة بالرصاص المذكورة مناسب للربع هذا الزمن
والسرعة المكتسبة بالرصاص الهابطة مناسبة للزمن الماضي منذ شروعها
في الهبوط والمسافة المقطوعة بالرصاص المذكورة بواسطة التناقل مناسبة
لربع هذا الزمن

وتطلق القوى البسيطة على القوى التي لا تؤثر في الجسم الامتزة واحدة
وبها تكون المسافات المقطوعة مناسبة للسرعة الثابتة المتعددة
وتطلق القوى النشاطية على القوى المجردة او المعطلة التي يكون قياسها معلوما
من مربع السرعة المكتسبة المتعددة

واي وضع وجد فيه الجسم مدفوعا بآى سرعة كانت فانه اذا هبط مدة زمن ط
اكتسب سرعة $\sqrt{ط}$ المناسبة لزمن ط المذكور وعليه اذا كان م رمزا
لجسم هذا الجسم فانه يكتسب كمية من التحرك تساوى $\sqrt{م} \times \sqrt{ط}$ وهذه
الكمية هي مقدار القوة النشاطية من م

فاذا افطنا جسم الي اكتسب قوة $\sqrt{م}$ كن استعمالها فيما بعد في اشغال الصناعة
فانه يستدل على كمية القوى التي يجمعها بضرب مجسمه في سرعته المكتسبة
وذلك في عقب

$$١, ٢, ٣, ٤ \dots \dots \dots \text{الخ من التوالى}$$

$$١, ٤, ٩, ١٦ \dots \dots \dots \text{الخ م} \times ٨٠٨٧٩٥, ٩$$

فاذا اخذت هذه المقادير من الشمال الى اليمين ادت الجسم الهابط القوة النشاطية

المتزايدة وإذا اخذتها من اليمن الى الشمال أدت للجسم الصاعد القوة النشاطية المتناقصة

والفاضل بين هذه القوى هو عين الفاضل بين الارتفاعات سواء كانت القوى المذكورة صاعدة اوهابطة

وحينئذ اذا وقع جسم بدون معارض بقوة نشاطية مكنسبة من ابتداء نقطة \bar{A} الى نقطة \bar{B} او حذف هذا الجسم من اسفل الى اعلى بالقوة المذكورة فانه يرتفع من \bar{B} الى \bar{A} قبل أن يطل قوة التناقل المعطلة جميع ما تمحصل منها في مبداء الامر عند تنزيلها للجسم المذكور

ومن ثم يعلم انه لا يمكن استخراج فائدة من القوة المكسبة بالجسم الهابط ليعدها اعلى من نقطة مبداء سيره ولا من القوة المعدومة بالجسم الصاعد لتزداد قوته بواسطة سقوطه اذا اقتضى الحال رجوعه الى نقطة مبداء سيره وهذه الحقائق في غاية السهولة ومع ذلك اذا تفطن اليها العقل ساد بها عن الوقوع في الاختلاطات والتراكيب القاسدة والمباحث الخالية عن الفائدة المتعلقة بالتحرك الدائم

فاذا كان هناك جسم ساكن ووقع عليه تأثير الهواء كان هذا التأثير قوة دافعة له تجتهد دائما حتى يكتسب سرعة مساوية لسرعة الهواء المذكور لكن كلما اكتسب الجسم المذكور سرعة اكبر من الاولى حصل له من الهواء دفعة غير قوية وعليه ففي هذه الحالة لا تكون القوة المعجلة ثابتة وكذلك لا تكون القوانين المحكمة المنظمة لنسب الزمن مع السرعة المتكررة والمسافات المقطوعة اسهل من القوانين التي ذكرناها وينطبقها على التناقل

(وسيا في ان قوة التناقل لا تكون ثابتة على ابعاد متنوعة من مركز الارض)

واذا فرضنا ان جسما يتحرك في الهواء الساكن او في اتجاه مضاد لاتجاه الهواء فانه يجتهد ازدياد سرعته يحصل له من الهواء مقاومة متزايدة وعليه فلا يكون الهواء مؤثرا كالقوة المعطلة النابتة فخط بل يكون مؤثرا كالقوة المعطلة المتزايدة

وسأقضي لهذه الملاحظات التي ذكرناها هنا على وجه اجمالي مزيد توضيح عند تعريف طبيعة قوة الهواء الخاصة وبيان تطبيقها على الصناعة (في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة المطبقة على الصناعة) هنا ولم يبق علينا الا الصورة الثالثة ولنذكرها هنا فنقول ان هذه الصورة هي التي تكون فيها القوة الاصلية متجهة الى جهة مخالفة لتأثير القوى المجلة او المعطلة وحينئذ لا يقطع الجسم خطا مستقيما وانما يرسم منحنيّا تكون خاصيته وانحناءه على حسب تأثير القوى المجلة او المعطلة وشدة تلك القوى ولا نذكر هنا الا قوتين وهما قوة الهواء وقوة التناقل اللتان يؤثران في تحرك الاجسام سرعة او بطأ واما الصناعة فيستعمل فيها جملة عظيمة من القوى الاخرى بل انها تبطل مقاومة ما سابها من القوى لاجل تحصيل النتائج المطلوبة وقد تقدم الكلام على بعض تلك القوى وليرجع الى ما نحن بصدده فنقول

اذا كان هناك مقيسة متحركة على الماء فان تحركها يكون بقوة مستمرة تظلها من حالة السكون حتى تصل الى غاية ما يمكن من السرعة فيلزم أن تبطل بالتدريج مقاومات الماء النسيبة بتأثير القوة المعطلة ولا تصل الى حالة التحرك المنتظم او المنتسق الا اذا كان ما ينعدم من السرعة بتأثير القوة المعطلة مساويا لما يتجدد من السرعة عن القوة الدافعة التي يفرض يتجدد تأثيرها في كل وقت تساويا مضبوطة

وقد امتازت القوة الدافعة عن غيرها من القوى في انواع الالات يكون تأثيرها يزيد في كل وقت بكمية معلومة لاجل ابطال المقاومات التي تتجدد في كل وقت لا يبطال هذه الكمية بعينها

حتى اخذت آلة في التحرك فانه يظهر بالقوة الدافعة على القوة المعطلة فينشأ من ذلك استمرارها على هذا التحرك وهو الذي يزداد بالتدريج حتى يصل الى الدرجة التي يكون ما ينعدم فيها من السرعة في كل وقت بالمقاومات مساويا لما يتجدد منها اي السرعة بالقوة الدافعة وبالوصول الى هذه الدرجة يكون

تتحرك الآلة منتظما او منتسقا وهذا التحرك هو الجارى فى الاشغال العادية من اشغال الصناعة

وللتحركات الاولى المتغيرة منزبة على غيرها فى تحرك الآلات وهى ان سرعتها فى مبداء الامر تكون معدومة ثم تتعدد وتزداد بالتدريج حتى تصل الى السرعة الثابتة المستعملة فى الاشغال المستمرة

هذا ولم يبد هذه الملاحظة لمجرد الرغبة فيما بل لكونها ضرورية فى فهم تحرك الآلات فانه فى مبداء التحرك يكون جزء من القوة الدافعة معدا لان يحصل به لكل من اجزاء الآلة درجة من السرعة الموافقة لحالة الشغل العادى الثابتة وعليه فيلزم ان تلك القوى ينعدم بها أولا انرسى الآلة (اى سكونها) وثانيا اوائل مقاومات القوى المعطلة لانه اذا اعطى للآلة المذكورة من اول وهلة قوة ثابتة مع السرعة اللازمة لها فى حال تحركها الاعتيادى لزم لذلك قوة وقوية عظيمة جدا حتى تبطل دفعة واحدة المقاومات الخاصة بهذه الآلة والمقاومات الحادثة من انرسى اجزائها وبذلك يفضى على الاجزاء المذكورة فانها ان لم تسكر وتتلف تضعف صلابتها وسند كرفى الكلام على تحرك الطارات المضرة مثلا شهرا نعم به اهمية ما ذكر

(الدرس الثالث)

(فى بيان القوى المتوازية)

لا يخفى اننا الى الان لم نذكر القوى المتجهة على مستقيم واحد وسبق ان علمنا يزيد ويقص على حسب تأثيرها فى جهة او اخرى تقابلها فانما كانت القوى لا تؤثر على مستقيم واحد فقط بل على مستقيمتين متوازيين فانه يحصل عن ذلك تأثير كذا تأثير القوى المتقدمة

مثلا اذا كان فرسان يجزان عربتين فى قطار واحد على مستقيم واحد كان تأثيرهما عين تأثير فرسين مشدودين بجوانب بعضهما ويجزان ايضا بالتوازي وكذا ثلاث افراس مربوطة فى قطار واحد ومتجهة على مستقيم واحد يكون تأثيرها عين تأثير ثلاثة اخرى مشدودة بجوانب بعضها وجارة بالتوازي

وهلم جرنا

فأذن يحدث من القوى المتوازية العديدة المتحدة بالجهة عين التأثير الذي يحدث من قوة واحدة تساوي مجموع تلك القوى وتجز في اتجاه واحد وهي المعروفة بمحصلة تلك القوى

فإذا كان هنالك قوى متوازية تجذب الى امام واخرى مثلها تجذب الى خلف وحولت الاول الى قوة واحدة مساوية لمجموعها والاخر الى قوة واحدة مساوية لمجموعها ايضا فان القوة المحصلة الكلية تكون مساوية لمفاضل المجموعين ومتجهة جهة أكبرهما

وقد ذكرنا لك هذه النتائج الثابتة بالتجربة لما ان استعمال هذه الكيفية اولى من اقامة براهين غير جلية لا تقنع ارباب القرائح الجيدة فلو قلنا مثلاً كما يقول بعض مؤلفي الاصول الاولى انه يلزم اعتبار قوتين متوازيتين في الاتجاه كالمقاطعتين في نقطة واحدة تقاطعا غير محدود ولهما اتجاه واحد غير محدود ايضا واثرنا التعبير بهذه الطريقة لما ذكرنا لك في الحقيقة الاشياء غامضة قليلة الوضوح ومما يسهل مشاهدته ان لمحصلة القوى المتوازية اتجاهها واحدا مع القوى المركبة منها وانها تساوي مجموع ما كان منها يجذب الى امام ناقصا بمجموع ما كان منها يجذب الى خلف وانما يصعب أن يشاهد في جميع الحالات وضع المحصلة الحقيقي ومعرفة متوقعة على مراجعة الهندسة

وذلك ان الهندسة تبين بواسطة الخطوط المناسبة زيادة عن المسافات المقطوعة او المعدة للقطع والمسافات المشغولة بالآلات ومحصولات الصناعة اصولا ميكانيكية بظن انه لا علاقة بينها وبين علم الامتداد ويجب مزيد الالتفات الى هذا الغرض المهم

وبالجملة فلا علاقة بين مدة الزمن وطول الخط الا ان الزمن ينقسم الى اجزاء متساوية كالساعات مثلا وتنقسم الساعات ايضا الى اجزاء متساوية كالدقائق والثواني وغير ذلك والخط المستقيم او المنحني ينقسم ايضا الى اجزاء متساوية ممتدة بارقام ١ و ٢ و ٣ الخ كالساعات التي تعاقب في السير من وقت

معين وينقسم كل جزء من تلك الأجزاء الى أجزاء متساوية بقدر ما في الساعة
من الدقائق وهذه التقسيمات الجديدة تدل على دقائق كل ساعة فإذا قسمنا أجزاء
الخط الجديدة تقسيماً ثانوياً بقدر ما في الدقيقة من الثواني فإن التقسيمات الحادثة
من ذلك تدل على الثواني وهلم جرا

فإذا وضعت الفكرة بالأرقام على هذه التقسيمات أمكنك أن تستدل على الزمن
أولاً بالأعداد وثانياً بالطوال الخطوط فإذا جعلت أجزاء الخطوط وطرحتها
أوضربتها أو قسمتها كما تفعل ذلك في أجزاء الزمن الدالة عليه كان بالبداية الخط
الآخر وهو حاصل جميع هذه العمليات دالاً على الزمن الأخير المطلوب تقديره
وهذه هي كيفية استعمال الهندسة في الاستدلال بالخطوط على الزمن

ثم إن مينات الساعات صغيرة كانت أو كبيرة على شكل دائرة منقسمة الى اثني
عشر جزءاً متساوية تدل على الساعات ومنقسمة أيضاً تقسيماً ثانوياً الى ستين جزءاً
متساوية تدل على الدقائق لكن لما كانت وحدة القياس مختلفة في الدقائق
والساعات لزم للساعة عقربان ليتبعاً حركتهما ولزم أيضاً أن العقرب المعدل
للدقائق يكون أسرع في السير من العقرب المعدل للساعات بأثنى عشرة مرة

وفي المزاويل الشمسية تكون متقا الزمن مبنية أيضاً بأصول هندسية وهي الزوايا
وذلك بأن نحدد مركز المزاولة مستقيماً موازياً لمحور الأرض ونفرض مستويين
يتربكل من المستقيم المذكور ومركز الشمس ويدور دوراً منتظماً * والزوايا
التي تقيس تحركه تكون أيضاً قياساً للمسافات المقطوعة

وكل من السرعة والزمن قابل للاستدلال عليه بالخطوط وحيث أن تكون
ارتفاعات وا و اب و بث المبنية في (شكل ١ من الدرس الثاني)

دالة على الأزمنة الماضية * وما يكتسبه الجسم من السرعة المتكررة
يستدل عليه بمسقيات اا و بب و ثج الخ المتوازية

وحيث أن يستدل على المسافات المقطوعة بالسطوح كما تقدم
ومتي أريد الاستدلال على المسافات المقطوعة بخطوط مناسبة لها وعلى
الأزمنة بخطوط أيضاً كانت السرعة المتكررة هي النسب الحاصلة بين هذه

الخطوط فاذن لا يستدل عليها من الا^ن فصاعدا الا بالاعداد
واما القوى فانه ليست من نفس الزمن ولا السرعة ولا المسافة لكنها عوارض
تستعمل الزمن لسير الاجسام من مسافة معلومة في زمن معلوم بسرعة
معلومة

فيمكن أن يستدل على القوى بخطوط مناسبة لها ومتجهة اتجاهها
كما استدل بها على الزمن والسرعة المتكررة والمسافات

وهذه القضايا واضحة سهلة اذ هي اظهر لك من اول وهله اعظم فوائد علم
الهندسة وانما احتيج الى هذا العلم هنا لتسهيل به معرفة الميكانيكا ولاجل
استحضار او معرفة حقائق الاشياء وان كان لا وجود لها في الظاهر بحيث يمكن
ادراكها بالحواس كالزمن فانه لا يمكن رؤيته ولا مسه ولا سماعه وانما يمكن
رؤية الخطوط والنقط والارقام المرسومة على المزولة ويؤخذ من ذلك ان الاشياء
تكون شاهدة دائما بواسطة الهندسة وبها يمكن قياس الزمن

وكذلك لا يمكن رؤية ثقل الجوى ولا سماعه ولا مسه وانما يمكن رؤيته تقاسيم المستقيم
المرسوم بقدر طول البارومتر (وهو ميزان الهواء) الذي تعرف به تغيرات ثقل
الجوى وتوصل بالهندسة الى ادراك ذلك كله بالحواس

ولا يمكن ايضا الحكم بمجرد النظر على الضغط الحادث عن البخار في قدر من الة
البخار وانما يمكن بواسطة المانومتر (وهو ميزان الابخرة) الذي هو كناية
عن بارومتر بخارى أن يستدل على هذا الضغط بخط منقسم الى اجزاء متساوية
وساوى لك ذلك في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة

فلا غرو حيثند في الاستدلال على القوى بخطوط مستقيمة * واتجاه هذه
الخطوط هو عين الاتجاه الذي يتبعه الجسم الواقع عليه تأثير القوة المينة
بما تقدم * وطول الخط يدل على مقدار القوة وترجع الى ما نحن بصددده وهو
القوى المتوازية فنقول

م^ن كان القوتان المرموز اليهما بمستقيمي اس و بص (شكل ١)
جاذبتين لمستقيم اب العمودى عليهما كان قضيب شر مربوط

بمنتصف آب والموازي لهاتين القوتين والموضوع على وجه منتظم بالنسبة لهما دالا بالبداهة على اتجاها محصلتهما وبالجملة فحيث كانت قوة اليمين ليست اكبر من قوة الشمال فلا داعي لان تكون المحصلة اقرب الى اليمين من الشمال اولا الى الشمال من اليمين

فاذا كان هنالك ثلاث قوى جاذبة بالتوازي لمستقيمات اس و بق و شز (شكل ٢) وموضوعة على بعد واحد من بعضها فان المحصلة تقع في بق وهم جزاؤها ان الصورتان يجريان في كثير من عمليات النقل بالعربات

مثلا اذا جر فرس واحد عربة بواسطة مجريين موضوعين وضعا منتظما على يمين منتصف العربية وشماله فانه يسحب بالسوية مجري الشمال واليمين وعليه فينبغي أن تسير العربية الى الامام في اتجاها مواز للمجريين المذكورين كما اذا كان الفرس لا يجز الا بواسطة جبل او جزائر ثابتة في منتصف العربية

وانا كان هنالك فرسان جاذبان يجتاب بعضهما فانهما يكونان على بعد واحد من نقطة المنتصف وهي ع (شكل ٣) وعلى ذلك تكون مجرات ط و ط و ط و ط الاربعة موضوعة وضعا منتظما على يمين المنتصف وشماله ويبان ذلك اولا ان محصلة مجري ط و ط مساوية ط + ط وواقعة على ه في منتصف كتف العربية وهو ا وثانيا ان محصلة مجري ط و ط مساوية ط + ط وواقعة على ف في منتصف الكتف الثاني للعربية وهو ش وثالثا ان لقوتي هه و فف محصلة وهي غ مساوية لجمعهما وهو ط + ط + ط + ط وموضوعة على بعد واحد من هه و فف

فعلى ذلك يكون مستقيم غ المار بمنتصف العربية دالا في الاتجاها على المحصلة الناتجة

ولنفرض أن هنالك قوتين متوازيتين وهما اس و ص غير متساويتين وجاذبتين لتضيب ا (شكل ٤) والمطلوب معرفة وضع المحصلة

فلاجل ذلك نفرض أن $\overline{سـاـث}$ $\overline{سـهـرـث}$ (شكل ٥) مشوران
 او اسطوانتان متجانستان ومتحدتان في السلك والطول بحيث اذا انطبق احد
 طرفيهما على الآخر كانا شاغلين لطول $\overline{اـسـ}$ مرتين وهذا ما يمكن عمله دائما
 فاذا قرر هذا انضح لك أن ثقل $\overline{ثـاـسـهـ}$ = $\overline{سـوـثـهـ}$ $\overline{سـهـرـث}$
 = $\overline{صـ}$ لا يتغيران اذا علق $\overline{ثـاـسـهـ}$ و $\overline{ثـهـرـث}$ من منتصفهما
 تعليقا متصيا فيثبت وجود بين $\overline{اـوـا}$ نصف طول الثقل الصغير
 وثانيا نصف طول الثقل الكبير وعليه يكون مجموع نصفي الطولين المذكورين
 مساويا لبعده $\overline{اـسـ}$ فاذن ينطبق الثقلان على بعضهما ويكونان موضوعين
 على وجه بحيث لا يتكون منهما الا ثقل واحد فاذا فرض انهما من مبداء الامر
 متلاصقان فذلك لا يغير وزانهما لكن ثقل $\overline{سـهـرـث}$ المتكون منهما المتحد
 السلك في كل من طرفيه يكون بالبداهة متوازنا عند تعليقه من منتصفه بقوة
 واحدة وليكن $\overline{ثـ}$ رمز هذا المنتصف فتكون محصلة قوتي $\overline{سـ}$ و $\overline{صـ}$
 وهي $\overline{رـ}$ مارة بنقطة $\overline{ثـ}$ المذكورة

فاذا فرض عكس طرفي $\overline{اـثـ}$ بأن جعل احدهما موضع الآخر وكانت نقطة
 $\overline{ثـ}$ موضوعة على $\overline{اـثـ}$ حدث بالبداهة هذا التساوي وهو

$$\overline{ثـ} = \overline{اـثـ} = \overline{رـصـ}$$

$$\overline{اـثـ} = \overline{رـثـ} = \overline{اـسـ}$$

وعلى ذلك تكون نقطة $\overline{ثـ}$ واقعة على نقطة $\overline{ثـ}$ في منتصف $\overline{اـسـ}$

فاذن ينبغي الوضع في $\overline{ثـ}$ على ابعاد متساوية من $\overline{اـسـ}$ و $\overline{رـصـ}$
 المناسبين لقوتي $\overline{رـصـ}$ و $\overline{اـسـ}$ لاجل تحصيل نقطة وقوع المحصلة

ولنذكر هنا مثلا في شأن هذه الحقيقة يتعلق بحجرات العربات بالخيول فنقول

يستعمل في ذلك غالبا هذه الطريقة وحاصلها انه اذا كان هناك ثلاث افراس

وهي $\overline{سـ}$ و $\overline{صـ}$ و $\overline{زـ}$ (شكل ٦) مربوطة بجانب بعضها فان

الفرسين المرموز اليهما بحرفي $\overline{صـ}$ و $\overline{زـ}$ يكونان مربوطين بكثف العربية

وهو $\overline{اـ}$ وتكون محصلتهما وهي $\overline{ثـ}$ مساوية لمجموع قوتيهما

وموضوعة في منتصف \overline{AR} وهذه المحصلة تقع مباشرة على قوة القوس الثالث وعليه فتوضع نقطة H مرتين قريبا من \overline{SR} و \overline{DS} وهي نقطة وقوع قوتي \overline{SR} و \overline{DS} وبناء على ذلك تكون ايضا نقطة وقوع المحصلة الناتجة منها وهي \overline{HX} وقد يكون H متجها على محور العربية الطولي

وليفرض كما في (شكل ٤) أن قوة $\overline{R} = \overline{S} + \overline{ص}$ تفوق على قوة $\overline{ص}$ قليلا قليلا حيث أن $\overline{س}$ تقص كثيرا كثيرا فإذا فرض في مساواة $\overline{R} \times \overline{رث} = \overline{س} \times \overline{ا-}$ أن $\overline{ر}$ و $\overline{رث}$ لا يتغيران فلا خفا أنه كلما قص $\overline{س}$ ازداد $\overline{ا-}$ وإذا كانت قوة $\overline{س}$ محولة بالتوالي الى نصف طولها الاصل اولئك او بعده او غير ذلك لزم أن يكون بعد $\overline{ا-}$ مضاعفا شي وثلاث ررباع وهكذا لاجل حفظ حاصل $\overline{س} \times \overline{ا-}$ وإذا بلغ $\overline{ا-}$ في الكبر ما بلغ فانه يوجد دائما مقدار صغير لقوة $\overline{س}$ التي لا مانع من مكافئتها للمساواة المتقدمة فاذن يفوق $\overline{ر} = \overline{س} + \overline{ص}$ على $\overline{ص}$ بكمية يسيرة وهي $\overline{س}$

ويحدث من ذلك القضية المشهورة وهي أنه لا يمكن توازن قوتين كقوتي $\overline{ص}$ و $\overline{ر}$ مع قوة ثالثة كقوة $\overline{س}$ متى كانتا متساويتين ومتوازيتين ومتجهتين الى جهتين متضادتين وإذا بلغت قوة $\overline{س}$ في الصغر والتباعد ما بلغت فانها لا تبلغ في ذلك حد الكفاية

وحيث ان القوة الكلية لا يمكن أن توازن قوتين متساويتين ومتضادتين ومتوازيتين يلزم أن لا يكون لهاتين القوتين محصلة كلية قابلة لان تسير الجسم الى الامام على خط مستقيم فاذن يحدث عن هاتين القوتين المتساويتين المتضادتين المتوازيتين على الجسم الواقعتين عليه تأثير آخر يلا عن التأثير الذي يسيره على مستقيم واحد وسيأتى الكلام على ما يكون للجسم من قوانين التحرك الجليدي في الدرس الرابع بعد توضيح ما يتعلق بالتحرك كان الحادثة على مستقيم واحد

ولترجع الى تأثير القوى المتوازية التي يمكن أن يكون لها محصلة ونذكر في شأنها قاعدة شهيرة فنقول

مق كان هنالك قوتان كقوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ واقعتان بمجوديا على قضيب $\overline{أب}$ (شكل ٧) فاذا انحرقتا بالسوية بشرط أنه لا يتغير توازيهما في $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ كانت محصلتهما وهي $\overline{ر}$ المساوية لمجموعهما دائما واقعة على نقطة $\overline{ث}$ وحيث لا يكون لوضع نقطة الوقوع ولا مقدار المحصلة تعلق بميل هاتين القوتين المتوازيتين بالنسبة للمستقيم الواصل بين قطبي وقوعهما ثم ان هذه الخاصية وهي خاصية التوازن التي هي بحسب الظاهر في غاية السهولة لها نتائج عظيمة وغرات جسيمة في علم الميكانيكا والصناعة ولنذكر الخواص الاصلية فنقول

اذا فرض ان هنالك ثلاث قوى متوازية كقوى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ واقعة على ثلاث قطليست على مستقيم واحد (شكل ٨) وان $\overline{أس}$ و $\overline{بص}$ و $\overline{شز}$ دالة على اتجاهات تلك القوى كان لقوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ في مبداء الامر محصلة $\overline{ر}$ الواقعة على نقطة $\overline{د}$ والمساوية $\overline{س} + \overline{ص}$ والموضوعة على وجه بحيث يحدث عنه هذا التناسب

$$\overline{دأ} : \overline{دب} :: \overline{ص} : \overline{س}$$

ثم يكون لقوتى $\overline{ر}$ و $\overline{ز}$ محصلة $\overline{ض}$ $\overline{ر} = \overline{ز} + \overline{س}$ $\overline{ص} + \overline{ز}$ فتكون نقطة الوقوع وهي $\overline{ه}$ لمصلحة $\overline{ض}$ موضوعة بحسب هذا التناسب

$$\overline{ده} : \overline{هث} :: \overline{ز} : \overline{ر}$$

فاذا تقرر هذا وتغير اتجاه جميع القوى بدون أن يتغير توازيها وكان وضع قطبي $\overline{د}$ و $\overline{ه}$ غير متعلق باتجاه تلك القوى يلزم أن يكون هذا الوضع باقيا على حالة واحدة وعلى ذلك ففي تغير اتجاه القوى المتوازية الواقعة على $\overline{أ}$ و $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ على أي وجه كان بحيث لا يعدم توازيها فان نقطة وقوع المحصلة تكون دائما نقطة $\overline{ه}$

فاذا كانت القوى اربعا او خمسا او سنا فان نقطة وقوعها لا تتغير ولو تغير اتجاهها
جميع القوى المركبة معا بشرط أن تكون باقية على توازيتها
هذا ويمكن أن نعتبر الجسم كجسموع عدة اجزاء صغيرة مادية مندفعه جهة
الارض بواسطة قوى اتجاهاتها متوازية تقريبا ويمكن اعتبار تلك الاجزاء
كالتقوى في التوازي بدون خطأين

فاذا كان الجسم في وضع وادير الى آخر واقضى الحال البحث في كل وضع عن
نقطة وقوع القوة الكلية المحصلة من ثقل كل جزء صغير من الجسم فانا نجد
دائما نقطة واحدة وهي نقطة شهيرة تعرف بمركز الثقل

وبواسطة التجربة يتحقق من خاصية الاجسام عند ثقليةها بخيط في اتجاهات
مختلفة وتوازنها فيكون هذا الخيط بالبداية تابعا لاتجاه محصلة ثقل جميع
اجزاء الجسم ويعلم من ذلك انه يكون دائما في اتجاه مار بنقطة منفردة وهي
مركز الثقل

ونخاصية مركز الثقل بالنظر الى الفنون فوائد عظيمة في تحريك الاجسام
ولنفرض أن جسمنا ذا شكل ما يتحرك على مستقيم واحد بدون أن يدور فكل
من اجزاء الصغيرة التي يطلق عليها اسم العناصر يكون مدفوعا بقوة مناسبة
اولا للسرعة المشتركة وثانيا لكمية الماتة التي يحتمل عليها هذا العنصر
وفي التحرك المستقيم الذي كلاًه نافية يتحرك كل عنصر على مستقيم واحد
فيكون مدفوعا بقوة متجهة الى جهة هذا المستقيم ومناسبة اولاً لجسمه
وثانيا لسرعته

ولنفرض مثلاً جسماً طوله متر واحد فاذا جعلنا هذا الطول قاعدة مثلث
رأسه في مركز الارض حدث عن ذلك مثلث ليست قاعدته جزءاً من ستة من
مليون من ارتفاعه ولا يحدث عن ضلعيه الطويلين الدالين على اتجاه التناقل
زاوية مساوية لجزء من مائة من الق من الدرجة الواحدة وهذه الزاوية لا يمكن
قياسها باعظم الآلات مع الضبط والصحة

وبجميع هذه القوى المتقدمة محصلة واحدة موازية لاتجاهها المشترك ومساوية

لجميعها ومارة بمركزها وهي عناصر مركز ثقل الجسم
وعلى ذلك يتحرك الجسم بهذه المثابة اعني يتبع مستقيما واحدا بدون دوران
وذلك باحد شروط ثلاثة وهي

(أولا) أن يكون كل من عناصر الجسم مدفوعا بقوة واحدة مناسبة لجسم
هذا العنصر ومقجهة الى اتجاه معلوم

(ثانيا) أن يكون الجسم كله مدفوعا بقوة واحدة موازية لاتجاه معلوم
ومارة بمركز ثقل الجسم

(ثالثا) أن يكون مدفوعا بقوة متوازية لها محصلة واحدة مارة بمركز
ثقل هذا الجسم

فعلى ذلك اذا اريد منع الجسم الذي يسير الى الامام على مستقيم واحد عن
التحرك بالكلية بواسطة قوة واحدة لزم أن يكون اتجاه هذه القوة مارة بمركز
ثقل الجسم

واما اذا اريد منعه عن التحرك بواسطة عدة قوى فيلزم أن تكون محصلة
هذه القوى مارة بمركز ثقله

وقد اثبتنا فيما سبق انه اذا علق او اسند جسم من نقطة واحدة فشرط التوازن
أن يكون مركز ثقل الجسم ونقطة التعليق موجودين معا على مستقيم رأسي
واحد ومتى اريد تعليق جسم في وضع معين لزم أن تتوهم مستقيما رأسيا مارة
بمركز ثقل ذلك الجسم ونضع نقطة الارتباط على الرأسى المذكور وسأأتى لك
في الدرس الذى نتكلم فيه على وضع مراكز ثقل المربع والمستطيل والمعين
والدائرة والقطع الناقص ونحوها ان البراويز التى تعلق فى البيوت وتكون
على شكل من هذه الاشكال لها نقطتا تعليق وارتباط موضوعتان مع مركز
ثقلها على مستقيم رأسي واحد ومن هذا القبيل النجفات المعلقة فى قباب
الكهائن ومسقوف المقاعد والدلاء المربوطة بالحبال لاعتراف الماء والنزول
فى المعادن

وبالجملة فمعرفة وضع مركز الثقل عمالاً بدته للصناعاتية سواء وضعوا اجساما

ساكنة في وضع معلوم او يبروها على مستقيم واحد بدون دوران او منعوا
تحرك الاجسام التي تسير بهذه المثابة

ثم ان جسم الانسان له مركز ثقل كغيره من الاجسام الا ان هذا المركز
يتغير وضعه متى حرك الانسان اعضاءه او جعل شيئا ما وذلك لان
الحامل والمحمول معا يعتبر لهما مركز ثقل واحد تتوزع به محصلة ثقله و ثقل حمله

فاذا وقف الانسان مع الاعتدال والاستقامة الثابتة (شكل ٩)
(شكل ١٠) امكن ان نعتبر انخصيه كقطبي وقوع القوى للتوازنة
المؤثرة من اسفل الى اعلا والدالة على قوة مقاومة الارض التي يكون بها
هذا الانسان وجميع قوى المقاومة محصلة واحدة رأسية واقعة على نقطة
مطلوبة كنقطة أ

ولاجل توازن ذلك يلزم ان تكون المحصلة مارة بنقطة \bar{X} التي هي مركز
ثقل الجسم الانساني لان هذا الجسم بدون ذلك يكون مجذوبا الى الجهة
التي يكون بها مركز ثقله ويكون محقق الوقوع مالم يبادر بتوصيل هذا المركز
الى وضع محصلة قوى المقاومة الرأسية بأن يميل بعض اعضاءه الى الجهة المقابلة
لجهة السقوط

فاذن يلزم ان مركز ثقل الجسم الانساني يعتبر كأنه يتغير في كل وقت تقريبا
بالتحركات التي تستدعيها حاجة الانسان او حظه

ومن المهم في الفنون المستطرفة وفي كثير من فروع الصناعة معرفة الاوضاع
المنووعة التي يمكن ان يأخذها مركز ثقل الانسان

فينبغي للمصورين والنقاشين ان يعرفوا هذه الاوضاع معرفة كافية
حتى لا يضعوا اشكالها في وضع فاسد اى في وضع لا يمكن للانسان
ان يقف فيه مع الاستقامة بدون ان يسقط ولا شك ان هذا العيب كاف
في الاخلال بجودة الصناعة وضياع انتظام الفنون المستطرفة

فاذا فرض ان بعض المصورين رسم صورة انسان حامل على ظهره
(شكل ١١) محلا كبيرا وجعله في وضع تام الاستقامة كان ذلك

مخالفات القوانين الميكانيكية والحقيقة الرصد (وقدر من نافي جميع ما يأتي من العبارات والاشكال بحرف غ الى مركز ثقل الجسم الانساني وبحرف غ الى مركز ثقل الحامل والمحمول معاً)

وبالجملة فالتوازن يقتضي ان نقطة غ التي هي مركز الحامل والمحمول الاعتباري بجسم واحد تكون على المستقيم الرأسى الحادث عن انحنى الانسان لاجل المقاومة لكن اذا كان الانسان معتدلاً وكان مركز الثقل يميل الى جهة الخلف حتى يخرج عن المسافة المشغولة باخصى الرجلين فانه حيث يقع هو ومحموله الى جهة الخلف

والعتال معرفة تامة بهذه القوائد الميكانيكية فانه بمجرد ما يضع الحمل على ظهره يشرع في امالة الجزء الاعلى من جسمه الى الامام كاتراه في (شكل ١٢)

ليكون مركز الثقل المشترك بين الجسم والحمل على مستقيم رأسى لائق فاذا كان الحمل باقياً على ثقله فانه كلما كان مركز ثقله بعيداً عن مركز ثقل جسم الحامل صكان المركز المشترك بينهما مائلاً الى الخلف وكان العتال مجبوراً على أن يميل الى الامام ولا يزال كذلك حتى ينتهي امره الى اخذ وضع متعب وربما تعذر اذا كان الحمل عظيم الحجم كما تقدم في (شكل ١٢)

فاذا كان الجسم مسطحاً من جهة وعريضاً من اخرى فان العتال يستند بالجهة المسطحة على ظهره ويثقل حيث قد مركز ثقل الحمل الى الامام مهما امكن وبذلك يمكنه عند حمل ثقل معاوم أن يميل قليلاً بقدر الامكان ليكون متوازناً مع الحمل

ومن الاثقال التي لاتعد خفيفة جرنيدية العسكري التي يحملها على ظهره وقد كانت الجرنيديات القديمة المهدية بالكلية ينشأ عنها ضرر كالضرر الناشئ عن الحمل المذكور في (شكل ١٢) فكان مركز ثقلها مائلاً الى الخلف بالكلية فبذلك كان الراجل مجبوراً على أن يكون الجزء الاعلى من جسمه مائلاً الى الامام بالكلية حال السير وكان ذلك بموجب قوانين صعبة صادرة عن او امر غوطية فلما تفكر وافي خواص مراكز الثقل ادر كوا فاندتها

ومنعوا العساكر جريئيات عريضة ومسطحة (شكل ١٣) مركز
نظها يميل الى الخلف قليلا اذا حملها العساكر على ظهره من جهتها
العريضة وهذا التخصيف الضروري معدود من العمليات السهلة المتعلقة
بتقصية مركز الثقل النظرية وكان العساكر قبل عمل هذه الجريئيات
يقربون يميلون على ظهورهم مع المشقة جريئيات ردة الشكل

وقد ينشأ عن الحمل الموضوع في جهة الامام تأثير مضاد يجبر الحمل على الميل
الى جهة الخلف لاجل أن يحفظ التوازن على قدميه مالم يقصد وضعا لا يمكن
الاقامة به بدون أن يكون عرضة للسقوط (شكل ١٤)

فانظر الى بائعة السمك (الافرنجية) مثلا (شكل ١٥) فانك تجد حالتها
المربوطة بالاربطة معلقة امامها تطبيقا اقويا وراها عند الوقوف على غاية
من الاعتدال الآن اعلى جسمها يكون مائلا مع رأسها الى جهة الخلف
ولما كانت في الغالب تستند يديها على فخذيها كان ذراعاها ايضا مائلين الى
تلك الجهة وهذه العادة وان كانت جارية في الناس لتقصديا لتهيئة والوقوف
الا ان هذه المراتم تكن تقعها الا ليكون مركز ثقل جسمها وذراعيها مائلا
الى خلف بقدر الامكان لتوازن حملها

وكذلك الحبل (شكل ١٨) فانها اذا عظم حملها وثقل تكون مجبورة
بكاية السمك على امالة اعلى جسمها الى خلف ولو حوت العادة بانها حال المشي
تستند يديها على فخذيها حتى يكون ذراعاها مائلين الى خلف لكانت
في الغالب تمشي مشيا قويا

وكذلك من تجاوزوا الحد في الغلط (شكل ١٧) فانهم مجبورون
على الاستقامة والاعتدال على الوجه الذي عليه السماكة والحبل
واذا اريد امالة ثقل جسم الى جهة الامام لزم تقديم الارجل كثيرا نحو تلك
الجهة وامالة منتصف الجسم الى جهة الخلف بالكلية ليكون مركز الثقل
مائلا الى خلف بقدر الامكان (شكل ١٦)

وقد ذكر حنايا كس رسول أن النساء لا يعرفن كيفية الجري وانهم يعدون

في تلك الحالة أذرعهم إلى خلف لأنهم عند الجرى يملن بأعلى جسمهم إلى الامام بالسكينة وذلك يستلزم استعمال الأذرع المتقدمة لأجل التوازن فإذا كان السقام (الافرنجي) يحمل بأحدى يديه دلوا واحدا (شكل ٢٠) فإن مركز ثقل الحامل والمحمول لا يكون مائلا إلى جهة الخلف ولا إلى جهة الامام كما في الصور المتقدمة وإنما يكون مائلا إلى جهة غيرهما وحيث أن يارزمه أن يميل إلى الجهة المتسابقة لتلك الجهة وذلك يوجب التعب دائما ومن هذا القبيل أيضا الموضع التي تحمل الطفل على إحدى ذراعيها (شكل ١٩) ومثل هذه المشاق الخالية عن الجدوى ينبغي اجتنابها وامتدادها بكيفية أخرى بأن يجعل الانسان ما يحمله على جزمين متقابلين من جسمه بالسوية فيحمل السقام مثلا دلوين (شكل ٢٢) والموضع طفيين متساويين في الثقل (شكل ٢١)

وتم نساء ضعيفات يحملن على رؤسهن مع السهولة انتقالا جسيمة (شكل ٢٣) بحيث يكون مركز ثقل الحمل في الوضع الرأسى مع مركز ثقل الجسم فيكون مركز ثقل الحامل والمحمول مرتفعا لكنه يكون دائما على رأسى واحد فإذا لا تحتاج المرأة الحاملة إلى الميل من أى جهة كانت لأجل حفظ توازن وضعها الطبيعى

وأول ما اخترعه الناس من المخترعات الميكانيكية بعد أن كانت اشغالهم لأطائل تحتها هو الخرج الذى له جهة واحدة أو جهتان متساويتان وهو مشقوب من وسطه ليدخل به الجاني رأسه (شكل ٢٤) فإذا جى الخراج وضعوه في جهتي الخرج القدامية والخلفية حتى تمتلا بالسوية بحيث لا يغير مركز ثقل الحامل والمحمول وضعه الرأسى بل يبقى عليه دائما وحيث فيمكن في استعمال الخرج المذكور أن يوضع في جهتيه بدون مشقة حمل عظيم

فإذا فرضنا ان انسا ما وقف على رجله مع الاعتدال ثم رفع احدهما على حين غفلة وصر واقفا على رجل واحدة فإن بقى جسمه على اعتداله فلا شك انه يقع من جهة الرجل المرفوعة فيلزمه لأجل منع هذا الوقوع ان يميل بجسمه قليلا

الى جهة الرجل الثابتة في الارض بحيث يكون مركز الثقل موضوعا على
المستقيم الرأسى المار بالجزء المشغول بهذه الرجل من الارض
فمن ثم كان الناس في حال المشى يميلون قليلا بدون اشعار الى جهتي اليمين والشمال
بالتعاقب على حسب ارتفاع الرجل اليميني او اليسرى (شكل ٢٥)
وقد يكون هذا التحرك المتعاقب محسوسا للانسان بالكلية اذا وقف أمام بلوك
من العساكر سائر على صف واحد بالتساوى وذلك لانه يرى ان هذا البلوك
يميل ذات اليمين وذات الشمال عند كل خطوة مع غاية الانتظام والاتحاد
في السير

فيكون هذا التحرك الخفيف الحاصل ذات اليمين وذات الشمال الذي ينشأ عنه
وضع مركز الثقل الثابت في غاية الصعوبة والمشقة على شخصين كل منهما
قايض على ذراع صاحبه وماش مع النشاط والخفة مالم يسيرا على مهل معا
فان مركز ثقل احدهما بدون ذلك يكاد يقع جهة الشمال تحقيقا متى كاد
مركز ثقل الاخر يقع جهة اليمين وبناء على ذلك اذا كانت رجلاهما الدخيلتان
موضوعتين على الارض فان هذين الشخصين يتصادمان او يتدافعان
واما في صورة العكس وهى ما اذا كانت رجلاهما الخارجتان على الارض
فانهما يتجاذبان ويكادان أن يتصلا عن بعضهما وبذلك يكون ذراعاهما
في غاية التعب

وقد ترتب على ما ذكرناه من الادلة في شأن العساكر المشاة الذين يلزمهم بموجب
الترتيب الجارى الآن أن يسيروا مع تماس اذرعهم بعضها البعض منفعة عظيمة
وهى جبر جميع الناس المتماسين على أن يسيروا معاقدا ما يقدم لانه بدون ذلك
لا يمكن استمرار اذرعهم على التماسه حيث انه اذا مال انسان منهم بحسبه
الى الجهة اليميني مال الاخر بحسبه الى اليسرى فيقتل صفهم وتتفرق جمعيتهم
ولا جل حصول الانتظام والاتحاد في جميع الحركات بمجرد الشروع في السير
يجب على العساكر جميعا أن يمدوا بجزء واحد وهى اليسرى حسبما هو
منفق عليه ومن هنا تعلم ان الباعث لهم على ثقل رجل واحدة عند السير المنتظم

من متعلقات قضية مركز الثقل النظرية

هذا ويظهر في فن الرقص من تطبيقات هذه القضية وعلاقتها ما هو أكثر تنوعا من السير وليس هذا محل البحث عن دروس معلى الرقص الرموزى او غيره من انواع الرقص حتى تعترض فيه ذكر هذه التطبيقات لكن حيث اتنا بصدد الكلام على قاعدة التحرك وهو موجود في السير والرقص والتمرن على النط والوثوب حتى أن تكلم هنا على التطبيقات المذكورة فنقول

اذا فرض ان الراقص او البهلوان رفع رجله اليمنى من الجهة اليمنى مثلا وجب عليه في الحال أن يميل جزأ من جسمه الى الجهة المقابلة لتلك الجهة حفظا للتوازن لكن حيث كان يلزم أن تتحركت الجسم تكون صغيرة مهما امكن ليكون ما يبدل في ذلك من الجهد قليلا غير ظاهر مع السهولة والخفة لزم أن يمد الراقص او البهلوان ذراعه الايسر الى الجهة اليسرى فانما كانت الرجل اليمنى متأخرة الى خلف لزم أن يكون الذراع الايسر متقدما الى أمام فيكون على صورة مركز (اى عطار) الطيار اللطيفة (شكل ٢٦) وعلى صورة روميه ايضا (اى الشهرة)

واما مقابلة تحركات الاذرع بتحركات الرجل لحفظ مركز الثقل على رأسى واحد فذلك مما لا بد منه لتطاطى الحبال الذين يتطون بلاميزان معهم فيكون التحرك حينئذ محسوسا مشاهدا والغرض الاصلى من الميزان المذكور هو تحويل مركز ثقل الجسم والميزان معا على رأسى مار بالحبل

وكثيرا ما عانت الناس عيشون مع العجالة ويميزون اذرعهم بكثرة ويطرحونها الى اى جهة من الجهات عوضا عن كونهم يطرحونها الى الخلف والى الامام كما هي عادة معظم الناس * وبموجب الملاحظات المقررة في شأن الطريقة التى يكون فيها مركز الثقل مائلا في كل خطوة الى جهة الرجل النابتة على الارض يرى أن الاذرع تميل بواسطة التحرك الطبيعى الى جهة الرجل المرتفعة لاجل تحويل مركز الثقل الى اتجاه السير فهو لاء الناس الذين يراعون هذه الملاحظات يكونون في مشيهم أكثر استقامة واعتدالا من الاول

ثم ان مراعاة مركز الثقل هي من اهم الاشياء في فن ضرب الشيش
فاذا كان ثقل الجسم مائلا كما هو العادة الى الرجل اليسرى المتأخره الى خلف
لزم أن يكون مركز ثقل الجسم موضوعا على مستقيم رأسي مائلا دائما بالرجل
المذكورة وهذا بعينه هو الذي يجبر الانسان على أن يميل كثيرا باعلا جسمه
الى خلف ويديه اليسرى الى تلك الجهة لاجل توازن الذراع الايمن والساق
الايمن المتقدمين الى امام وبالجملة فادنى ضربة من الشيش المعتد للتعليم تقلب
الضارب اذا كان مركز ثقله مائلا جدا الى خلف وفي صورة العكس وهي
ما اذا كان المركز المذكور مائلا الى الامام يحصل للضارب تعب عظيم متى مال
بجسمه الى خلف وربما كان عرضة للخطر يبطئ هذا التحرك
وسياتى في الدرس الذي تكلمنا فيه على تحرك الدوران ان مركز الثقل لها
تأثير مهم في التحرك المذكور كما ان لها تأثيرا مهما في التحرك المستقيم

(الدرس الرابع)

(في بيان مراكز ثقل الآلات ومحصلات الصناعة وفي كمية القوى)

اعلم ان ما ملقناه من الامثلة في الدرس المتقدم يكفي دليلا على ان من اهم
الاشياء في كثير من الفنون والصنائع تعيين الوضع الحقيقي لمركز ثقل ككثير
من الاجسام المتنوعة الشكل وكذلك تعيين مركز ثقل الاجزاء الثابتة
والاجزاء المتحركة من سائر الآلات

فاذا وسقت عربة ذات عجلين فلا بد أن لا يكون ثقل الحمل موضوعا امام المحور
ولا خلفه لانه في الصورة الاولى ان لم تتلف القوس من الحمل يلحقها مشقة عظيمة
بدون أن يتقص شيء من الجهد والتعب اللازم لجر العربة وفي الصورة الثانية
يكون ثقل المؤخر اعظم من ثقل المتقدم فان لم تضرب العربة بذلك وتترزل
ارتفع القوس وصار بعيدا عن الارض وربما ترتب على هذا الجهد والمشقة
خطر عظيم عند الصعود على جانب جبل منحدر انحدارا زينا

ولا بد في عمارة السفن وانتظام وسقها وتصيرها ولوازمها وادواتها من حساب
وضع مركز ثقل كل جزء من السفينة وكل شيء احتوت عليه لاجل معرفة

مركز ثقل الجميع ولاجل التحقق من استيفائها لشروط التوازن والنبات
كما سيأتي (في الجزء الثالث عند ذكر القوى المتحركة)

فإذا كان ثقلان متساويان ومعتبران كنقطتين ماديتين مربوطتين بطرف في قضيب
غير لين وفرضنا أنه لا تتأثر له فإن مركز ثقل مجموعهما يكون في منتصف
المستقيم

ونقطة $\overline{غ}$ التي هي مركز ثقل مستقيم ثقيل كمستقيم $\overline{أب}$ (شكل ١)
المبين بسمك معدني متحد السمك في جميع جهاته موضوعة في منتصف طول
هذا المستقيم لأنه إذا علق من منتصفه فلا داعي لأن تكون إحدى جهتيه
أرجح من الأخرى بل يكون التوازن باقيا على حالة واحدة مهما كان ميل هذا
المستقيم والنقطة التي يكون هذا التوازن الثابت حاصلًا حولها هي مركز
ثقل المستقيم المذكور

فلا خفاء أنه إذا وضع منتصف قضيب افقي متحد السمك في جميع طوله على طرف
اصبع أو على طرف شيء ما فإنه يكون متوازنا وكذلك إذا علق من منتصفه
وسياضي عند الكلام على الرافعة أن توازن الميزان من جملة تطبيقات هذه
القاعدة

وانفرض الآن أن المطلوب مركز ثقل مجموع مستقيمي $\overline{أب}$ و $\overline{ش د}$
(شكل ٢) المنتظمي التأقل في جميع طولهما بحيث تكون أطوالهما
دالة على ثقلهما

فيمكن أن نعتبر أن ثقل مستقيم $\overline{أب}$ محصور في منتصفه وهو نقطة $\overline{هـ}$
ونقل $\overline{ش د}$ محصورا أيضا في منتصفه وهو نقطة $\overline{ف}$

فيحدث بذلك قوتان متوازيتان أحدهما واقعة على $\overline{هـ}$ والأخرى على $\overline{ف}$
وكلاهما يدل عليه $\overline{أب}$ و $\overline{ش د}$ فتكون محصلتهما مدلولًا عليهما
بمجموع $\overline{أب} + \overline{ش د}$ وتكون نقطة وقوعها وهي $\overline{ش}$ على
مستقيم $\overline{هـ ف}$ مينة بهذا النسب وهو

$$\overline{أب} : \overline{ش د} :: \overline{ش ف} : \overline{ش هـ}$$

الذي يمكن وضعه بهذه الصورة

أب + شد : أب :: ش ف + ش ه أو ه ف : ش ف
وينتج من ذلك أن

$$\frac{\text{أب} \times \text{فه}}{\text{أب} + \text{شد}} = \text{ش ف}$$

وبذلك يعلم مقدار الحد الرابع من هذا التناسب (كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

ويسهل بالقاعدة التي ذكرناها اقامة معرفة مركز ثقل ما يراد من المستقيمات الخفيفة وذلك بأخذ هاشقي فاذا كان المطلوب مثلا تحصيل مركز ثقل مستقيمات متألفا منها كثير اضلاع مستقيم مثل أب شد (شكل ٣) فانك تأخذ نقط تصيف اضلاع أب و بث و شد الخ وهي ا و ر و ث الخ فبواسطة القاعدة المتقدمة تجد على مستقيم ا ر نقطة س وهي مركز ثقل مستقيمي أب و بث واذا مددت مستقيمي س ر واعتبرت ان ثقل مستقيمي أب و بث محصور في نقطة س التي هي مركز ثقلهما كانت نقطة س مركز ثقل أب + بث + شد وقبيل ايضا ان نقطة ز مركز ثقل أب + بث + شد فتكون هذه النقطة مركز ثقل المستقيمان الاربعة وهي أب و بث و شد و دا

وعما يقع التلامذة يترتبهم على عمل كثير الاضلاع مثل أب شد الخ من سلك حديد يربطون به خيوطا من حرير كخيوط ا ر و س ر و س ه الخ فيجدون وضع مركز ثقل كثير الاضلاع المذكور على غاية من الضبط ثم يعلقون هذا الشكل بخيط جديد على التوالي من نقطة ا ومن نقطة ب ومن نقطة ث وهكذا فيرون أن الشاقول الموضوع بجوار خيط التعليق يمر دائما بمركز ثقل كثير الاضلاع المذكور فيتصورون حينئذ بالتجربة خاصية مراكز الثقل تصورا واضحها سهلا وبهذا التمرن يعرفون عملية مفيدة جدا

ويجبرون على ممارسة المساعدة الهندسية المقررة في شأن المستقيمات المناسبة
(كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

وقد بسطنا الكلام في الجزء المتعلق بالهندسة على شكل الخطوط المتماثلة
والسطوح المتماثلة والحجوم المتماثلة وخواصها * ولا اهتمام بتماثل الاشكال من
اعظم ما يكون عند الميكانيكي والمهندس وان كان الصناعية لا يهتمون
بهذا الغرض

وليكن كما في (شكل ٤) شكل $ABCD$ ثباتا مثلا متماثلا
بالنسبة لمحور AE ولنكن نقطة G مركز ثقل محيط $ABCD$
الموضوع على شمال محور التماثل

فاذا تينا جزء الشمال على جزء اليمين فانهما يطبقان على بعضهما انطباقا تاما
وحيث انهما لا يختلفان لافي المقدار ولا في الصورة ولا في الوضع لزم أن يكون
مركز ثقلهما موجودا في نقطة واحدة فاذن تكون نقطة G التي هي مركز
ثقل $ABCD$ في وضع متماثل بالنسبة لنقطة E بمعنى ان G و E
يكونان على بعد واحد من المحور وموضعين على مستقيم EG العمودي
على هذا المحور وحيث ان محيطي $ABCD$ و $ABCD$
المتماثلين متساويان في الثقل كما مدلولنا عليهما بقوتين متساويتين احدهما
واقعة على G والاخرى على E وكانت محصلتهما المساوية لمجموعهما
واقعة على منتصف مستقيم EG اعني في نقطة H على محور التماثل
فاذن ثبت المطلوب

ومركز ثقل اي خط متماثل يكون بالضرورة موضوعا على محور التماثل
ولننبه على ان المسطح المستوي المنتهي بحيط متماثل يكون متماثلا بالنسبة
للمحور المتقدم كالحيط المذكور

ويمكن أن يفرض أن هذا المحيط ينتهي به السطح المستوي الثقيل في جميع
جهاته كفرخ من ورق اولوح من معدن فاذا كانت قطعتا G و E
دالتين على مركزي ثقل المسطحين الموضوعين على يمين محور التماثل وشماله

فان مستقيم $\overline{غ غ}$ يكون عمودا دائما في نقطة $\overline{غ}$ على المحور ويكون
 $\overline{غ غ} = \overline{غ غ}$ فاذن يكون مركز ثقل كل سطح مستويا تماثل
 موضوعا على محور التماثل واذا علق في نقطة من المحور براوير ذات شكل مائل
 متماثلة فان محور التماثل يكون موجودا دائما في وضع رأسي وبالجملة فنقل
 الشكل المذكور يكون مؤثرا كالموكن محصورا كله في مركز الثقل وزيادة
 على ذلك يكون اتجاها هذا القوة الرأسى مازا فرضا بنقطة التعليق والارتباط
 الثابتة فاذن تعدد القوة بالمانع المذكور (وهو التعليق) وعليه فيكون
 البرواز متوازنا

والمنازل الاخرى من خرفة بكثير من البراويز المتماثلة ايا ما كان شكلها
 ونقطة تعليقها موضوعة على محور التماثل لانه ان لم يكن وضعها بهذه المثابة
 كانت قبيحة المنظر

ولنذكر هنا بعض امثلة سهلة لاجل ايضاح الملحوظات العامة التي اسلفناها
 ونرمز بحرف $\overline{غ}$ في جميع الاشكال الاتية الى مركز الثقل فنقول

ان $\overline{غ}$ الذى هو مركز ثقل المحيط او سطح البرواز المثلث التماثل مثل
 $\overline{ا ب ث}$ (شكل ٥) يكون موضوعا على رأسي ماز بنقطة $\overline{آ}$ التي هي
 رأس مثلث $\overline{ا ب ث}$ وبمنتصف قاعدته وهي $\overline{ب ث}$ فاذا علق هذا
 البرواز من نقطة $\overline{آ}$ التي هي رأس ذلك المثلث (شكل ٥) او من نقطة
 $\overline{د}$ التي هي منتصف قاعدته وهي $\overline{ب ث}$ (شكل ٦) وكانت هاتان
 النقطتان موضوعتين على محور التماثل فان وضع توازن البرواز المذكور
 يكون عين الوضع الذى يصير فيه محور $\overline{آ د}$ رأسيا واذا علق برواز على شكل
 شبه المخرف التماثل وهو $\overline{ا ب ث د}$ وكان تعليقه $\overline{آ}$ من نقطة $\overline{ه}$
 التي هي منتصف قاعدته الصغرى وهي $\overline{ا ب}$ كافي (شكل ٧) وثانيا
 من نقطة $\overline{ف}$ التي هي منتصف قاعدته الكبرى وهي $\overline{ب ث د}$
 كافي (شكل ٨) فان التوازن يستلزم أن محور التماثل وهو $\overline{ه ف}$
 المحتوى على $\overline{غ}$ التي هي مركز ثقل المحيط ومركز ثقل سطح شبه المخرف

يكون موجودا في وضع رأسي

وما ذكرناه من البرهنة على أن مركز ثقل المحيط المستوي والمسطح المستوي التماثلين بالنسبة لمحور ما يكون موضوعا بالضرورة على هذا المحور يجري أيضا في الأشكال المنتهية بخطوط مستقيمة أو منحنية ومن هنا تحدث الدعاوى اللاحقة وهي

كل قوس كقوس دائرة \overline{AB} (شكل ٩) يكون تماثلا بالنسبة لنصف القطر وهو \overline{OB} المار بمتصف هذا القوس فاذن تكون نقطة \overline{OG} التي هي مركز ثقل المحيط أو سطح قوس الدائرة المذكور موضوعة على نصف قطر \overline{OB} وبناء على ذلك اذا علق قوس دائرة \overline{AB} من منتصفه وهو \overline{B} كان طرفاه وهما \overline{A} و \overline{B} على أفق واحد ومتوازيين (وينبغي التنبيه على أنه لا يكون لمركز الثقل في قوس الدائرة ولا في شبه المحرف وضع كوضع مركز سطحهما)

ويجري ذلك في مسطح قطع \overline{AB} وفي مسطح قطاع \overline{OAB} واذا انعكس الشكل حدث وضع ثان للتوازن (شكل ١٠) فاذا كانت نقطة التعليق دائما على نصف قطر \overline{OB} فانه يكون في هذه الصورة كالتي قبلها باقيا على وضعه الرأسي

وحيث ان القطع المكافئ والقطع الزائد تماثلان بالنسبة للمحور المار برأسيهما فاذا اخذنا بالابتداء من رأس \overline{B} التي هي احد رأسي هذين المنحنيين (شكل ١١) جزأ \overline{BA} و \overline{B} المتساويان من هذا المنحنى فان مركز ثقله يكون على المحور فاذا علق حيثئذ هذا المنحنى من رأسه وهو \overline{B} فانه يكون متوازنا متى كان محور \overline{BD} تابعا لاتجاه رأسي

وهناك اشكال لها محورا تماثل مثل \overline{AB} و \overline{CD} كالمستطيلات (شكل ١٢ و ١٣) والمعينات (شكل ١٤ و ١٥) ففي هذه الاشكال يكون مركز الثقل وهو \overline{G} الذي يلزم أن يكون موجودا على كل من محوري التماثل في نقطة \overline{G} المشتركة بينهما اعني في مركز التماثل

فأذن يكون مركز نقل المحيطات والمسطحات المتماثلة بالنسبة لمحورين موجودا في قطعة تقاطع هذين المحورين اعني في مركز التماثل
والاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلها متماثلة بالنسبة لعدة محاور ويظهر من ذلك كثير من نقط التعلق المتماثلة المتنوعة بقدر ما يوجد من محاور التماثل
فأذن يكون مركز نقل المحيط ومركز نقل الاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلاهما موضوع في مركز نقل تماثل الاشكال الكثيرة الاضلاع المذكورة
والقطع الناقص تماثل (شكل ١٦ و ١٧) بالنسبة لمحوريه وهما
أ ب و ش د فأذن تكون قطعة غ التي هي مركز نقل محيط انقطع
الناقص المذكور وسطحه موجودة في مركز تماثل هذا النقص
والدائرة (شكل ١٨) متماثلة بالنسبة لكل من قطريها وهما أ ب و ش د
وعليه فيكون مركز نقل المحيط ومسطح الدائرة موجودا في مركز الدائرة
وفي اي قطعة من محيطه واز كثير الاضلاع منتظم او محيط قطع ناقص او محيط
مستدير متعلق به هذا البرواز يكون مركز التماثل دائما في وضع رأسي
مع قطعة التعلق

*(بيان مركز نقل السطوح) *

لاجل تعيين وضع هذا المركز يفرض أن السطوح كافرغ من الورق او الواح
من المعدن رقيقة جدا ومتحدة السمك في جميع جهاتها وثقيلة المسطح

*(بيان مركز نقل المثلث) *

اذا كان المطلوب تحصيل مركز نقل سطح مثلث كثلث أ ب ث (شكل ١٩)
فان هذا المثلث يقسم الى عدة قضبان متوازية ومتقاربة من بعضها جدا بحيث
يمكن اعتبارها كاستقييات ثقيلة فيكون مركز ثقلها موجودا على مستقيم آ ه
الذي يقطعها كلها من منتصفها بموجب خاصية الخطوط المتناسبة فأذن يكون
مركز مجموعها وهو غ اعني مركز المثلث الكلي على مستقيم آ ه الواصل
من آ الى منتصف ب ث وبمثل ذلك يبرهن على انه يكون موجودا
على ب ف وعلى ث ك الواصلين من ب ومن ث الى

متصني $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\beta}$ فاذن يكون مركز ثقل المثلث موجودا في نقطة $\overline{غ}$ المشتركة بين خطوط $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\beta}$ و $\overline{ا\gamma}$ الثلاثة ولكن حيث ان تقاطع $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\gamma}$ موجودتان في منتصف $\overline{ا\beta}$ و $\overline{ا\beta}$ و $\overline{ا\gamma}$ فان مستقيم $\overline{ك\theta}$ يكون موازيا للمستقيم $\overline{ا\theta}$ فيحدث حيثئذ عن هذه الخطوط (كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة) هذا التناسب

$$١ : ٢ :: \overline{ب\theta} : \overline{ا\theta} :: \overline{ا\gamma} : \overline{ا\theta} :: \overline{ا\theta} : \overline{ا\gamma} :: \overline{ا\theta} : \overline{ا\gamma}$$

فاذن يكون $\overline{ا\theta} = \frac{١}{٢} \overline{ا\gamma}$ و $\overline{ا\gamma} = \frac{١}{٢} \overline{ا\theta}$ وبناء على ذلك يكون مركز ثقل المثلث موضوعا أولا على المستقيم الواصل من رأسه الى منتصف قاعدته وثانيا في ثلث هذا المستقيم بالابتداء من القاعدة

* (بيان مركز ثقل ذي اربعة الاضلاع وهو $\overline{ا\beta\gamma\delta}$) *

اذا اريد تحصيل هذا المركز (شكل ٢٠) عين من مبداء الامر مركزا مثلثي $\overline{ا\beta\theta}$ و $\overline{ا\delta\theta}$ وذلك بايصال $\overline{ه\beta}$ و $\overline{ه\delta}$ الى منتصف $\overline{ا\theta}$ واخذ $\overline{ه\theta} = \frac{١}{٢} \overline{ه\beta}$ و $\overline{ه\theta} = \frac{١}{٢} \overline{ه\delta}$ ثم اذا وصل كل من تقاطع $\overline{و\theta}$ و $\overline{و\theta}$ بمستقيم $\overline{و\theta}$ تحدث محصلة قوى $\overline{ف\theta}$ = $\overline{ا\beta\theta}$ و $\overline{ف\theta}$ = $\overline{ا\delta\theta}$ الواقعين على تقاطع $\overline{و\theta}$ و $\overline{و\theta}$ فاذن تكون نقطة $\overline{غ}$ التي هي نقطة وقوع المحصلة مركز ثقل الشكل ذي اربعة الاضلاع المذكور

ومن السهل تحصيل مركز ثقل الاشكال ذوات اربعة الاضلاع التي بها نوع انتظام

وفي شبه المنحرف وهو $\overline{ا\beta\gamma\delta}$ مثلا (شكل ٢٢) يكون مركز الثقل وهو $\overline{غ}$ موجودا على مستقيم $\overline{ه\theta}$ الذي يقسم جميع المستقيمتين الموازيين للقاعدتين الى اجزاء متساوية ومركز ثقل سطوح متوازي الاضلاع والمعين والمستطيل والمربع يكون في نقطة تقاطع اقطارها كما تقدم في (شكل ٢١) و (شكل ١٤ و ١٥) وغيرها

وذلك لان كل قطر يقسم هذا الاشكال الى مثلثين متساويين والقطر الثاني القاطع للاول من منتصفه محتوى على مركزى ثقل هذين المثلثين فاذن يكون مركز ثقل كل من الاشكال المذكورة موجودا على القطر الثاني وبمثل ذلك يبرهن ايضا على انه يكون موجودا على الاول فاذن يكون موجودا على كل من القطرين المذكورين وبناء على ذلك يكون موجودا فى نقطة تقاطعهما فاذا قسم اى سطح متماثل مستويا كان او منحنيا (شكل ٤) بتضبان متوازية وعمودية على محور التماثل فان مركز ثقل كل تضيب يكون موجودا على مستوى التماثل او محوره فاذن يكون مركز ثقل السعة التماثلة موجودا على مستوى التماثل او محوره

ومتى كان لسعة محورا او مستويا تماثل فان مركز ثقلها يكون فى نقطة تقاطع المحورين المذكورين التى هى مركز الشكل وبناء على ذلك يكون مركز الثقل فى السعات المستوية التى لها محورا تماثل موجودا فى مركز التماثل كما تقدم اثبات ذلك فى الكلام على المحيطات التماثلة ولتشرع الآن فى ذكر السعات والسطوح المنحنية فنقول ان السطح المنحنى او المركب من عدة مستويات يكون تماثلا بالنسبة لمحور متى كان لكل قطع حادث من السطح عمودى على هذا المحور مركز تماثل موضوع على المحور المذكور وكذلك يكون الجسم المحدد بالسطح التماثل تماثلا بالنسبة لهذا المحور

فاذا فعل فى السطح او الجسم عدة قطوع عمودية على المحور وقريبة من بعضها قربا كليا فانه يمكن اعتبار قطوع ذلك الجسم كسطوح بسيطة ثقيلة مركز تماثلها موضوع على المحور المذكور وحيث فتكون محصلة ثقلها موضوعة عليه وتكون محصلات هذه القطوع مارة كلها بالمحور المقروض رأسا فاذن تكون المحصلة الكلية متجهة على هذا المحور وبالجمله فتكون مراكز ثقل الاجسام والسطوح المنحنية التماثلة بالنسبة لمحور موضوعة على محور التماثل المذكور ومتى كان الجسم محورا تماثل كان له مركز تماثل موجود على هذين المحورين

وهذا المركز يكون ايضا مركز ثقل السطح والجميع
ويظهر لنا من الفنون كثير من الاشكال التي لها محاور ثائل كسائر سطوح
الدوران فانها متى علفت من نقطة من محورها كان وضع توازن السطح والجميع
عين الوضع الذي يكون به المحور رأسيًا

والنجات المتعلقة بجبل او سلسلة في البيوت والسراريات والهياكل متماثلة دائما
بالنسبة للمحور وذلك ان النجفة تكون مربوطة في نقطة مامن نقط هذا المحور
ويكون للمحور المذكور في وضع التوازن وضع رأسي ومن هذا القبيل شاقول
أب (شكل ١٨ مكرر) فان ثقله وهو ب جسم متماثل بالنسبة
للمحور مربوط به خيطه

وليس كون المحور رأسيًا مقصورا على الحالة التي تكون فيها النجفة ساكنة
بل يكون كذلك في صورتين ايضا احدهما اذا كانت النجفة هابطة او صاعدة
وحركت نقطة ارتباطها بمحور كالأسياء والثانية اذا كانت تدور على نفسها فتكون
حيث تدور باقية على وضعها الرأسي مالم يعرض لها اصطدام تميل به من احدى
جهااتها

ومن هذا القبيل ايضا الشاقول وبذلك انخاصية يتحقق العمل
وسأني ان الصناعة اكتسبت عدة عمليات عظيمة من خاصية محاور التماثل
وهي احتواء هذه المحاور على مركز ثقل الاجسام ولذا ذكر قبل التوغل
في ذلك خواص اخرى مهمة جدا تتعلق بالقوى المتوازنة وبمراكز الثقل
فنقول

(بيان مقادير القوى المتوازنة)

معي كان لقوتَي $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ (شكل ٢٤) المتوازيتين الواقعتين
على تقاطع $\overline{أ}$ و $\overline{ب}$ من مستقيم $\overline{أب}$ محصلة كمحصول $\overline{ز}$ واقعة
على $\overline{أب}$ في نقطة $\overline{و}$ حدث

$\overline{س} \times \overline{وآ} = \overline{ص} \times \overline{وب}$ اي $\overline{س} : \overline{ص} :: \overline{وب} : \overline{وآ}$
فاذا مددنا مستقيم $\overline{م و د}$ عمودا على اتجاها القوتين المتوازيتين

حدث هذا التناسب وهو $و ب : و ا :: و د : و م$
 كما تقدم (في الدرس الخامس من الهندسة عند ذكر الخطوط المناسبة)
 وبناء عليه يستبدل التناسب المتقدم بهذا التناسب وهو

$$س : ص :: و د : و م$$

الذي يحدث منه $س \times و م = ص \times و د$
 وحيث أن $س$ و $و م$ ثابتان فإذا فرضنا أن بعد $و د$ يكون
 على النصف يلزم أن قوة $ص$ تكون مضاعفة مثني ليكون الحاصل
 ثابتا والتوازن واقعا ولا مانع أيضا من أن نفرض أن بعد $و د$ يكون
 على الثلث فيلزم أن قوة $ص$ تكون متضاعفة ثلاث ولا مانع كذلك
 من أن نفرض أن بعد $و د$ يكون على الربع فيلزم أن قوة $ص$ تكون
 متضاعفة رباع وهكذا فيأخذ حيث نريد في الازدياد تأثير قوة $ص$
 في مقاومة $ز$ المساوية لمقاومة $ز$ والمضادة لها لاجل توازن القوة
 المذكورة مع قوة أخرى كقوة $س$ موازية لها وازدياد هذا التأثير
 يكون أولا بالمناسبة لقوة $ص$ المذكورة وثانياً بالمناسبة لبعده
 $و د$ وهو بعد اتجاه هذه القوة عن النقطة التي تكون بها المقاومة والحاصل
 الذي يستعمل قياسا لتأثير القوة في المقاومة الموجودة بنقطة $و$
 هو ما يسمى بمقدار القوة بالنسبة لنقطة $و$ المذكورة

فإذاً يكون $س \times و م$ هو مقدار قوة $س$ وكذلك يكون
 $ص \times و د$ مقدار قوة $ص$ ولذا ذكر شرط التوازن المبين
 بمعادلة $س \times و م = ص \times و د$ فنقول
 يشترط في جعل قوتين متوازيتين كقوتَي $س$ و $ص$ متوازيتين
 حول نقطة $و$ الثابتة أن يكون مقدار القوتين المأخوذ بالنسبة للنقطة
 المذكورة واحداً في كل منهما

وبشروط أيضاً أن تكون قوتا $س$ و $ص$ يديران المستقيم إلى جهتين
 متقابلتين

هذا ولا مانع من وضع المقاومة في نقطة $أ$ (شكل ٢٤) واعتبار توازن

قوتى $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ المؤثرتين في جهتين متضادتين فإذا مددنا مستقيم

أ ح عودا على اتجاه هاتين القوتين المتوازيتين حدث هذا تناسب

$$\overline{ص} : \overline{ز} :: \overline{او} : \overline{اب} :: \overline{أ} : \overline{أخ}$$

فإذا ن يكون $\overline{ص} \times \overline{أخ} = \overline{ز} \times \overline{أ}$

فيكون حينئذ حاصل المقدارين في هذه الصورة كالتي قبلها واحدا في قوتى

$\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ المتوازيتين مع قوتى $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ كما أنه واحد أيضا

في قوة $\overline{ص}$ وقوة $\overline{ز}$ التي هي محصلة $\overline{س}$ و $\overline{ص}$

ولذلك لأن مستقيما حيثما اتفق كستقيم أ م د (شكل ٢٥) من نقطة أ

ونجعل مستقيمي و م و ب عمودين على هذا المستقيم فيصير

من خواص الخطوط المناسبة (كما سبق في الدرس الخامس من الهندسة)

هذا تناسب

$$\overline{ص} : \overline{ز} :: \overline{او} : \overline{اب} :: \overline{و م} : \overline{ب د}$$

وينتج من ذلك أن $\overline{ص} \times \overline{ب د} = \overline{ز} \times \overline{و م}$

فيكون حاصل ضرب قوة $\overline{ص}$ في بعد نقطة وقوعها وهي ب على

مستقيم أ م د وحاصل ضرب قوة $\overline{ز}$ في بعد نقطة وقوعها وهي و

على هذا المستقيم هما مقدارا $\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ المأخوذان بالنسبة للمستقيم

الذكور ويعرف هذا المستقيم حينئذ بمحور المقادير

وعليه فبقي كان محور المقادير مارة بنقطة وقوع قوة $\overline{س}$ المتوازنة مع قوتى

$\overline{ص}$ و $\overline{ز}$ المتوازيتين كان مقدار $\overline{ص}$ مساويا لمقدار $\overline{ز}$ وكان

هذان المقداران مؤثرين في جهتين متضادتين

فإذا مددنا مستقيما ل م ن موازيا للمستقيم أ م د ثم جعلنا أ ل

و و م د ب ن أعدنا على هذين المستقيمين المتوازيين حدث

$$\overline{أل} = \overline{ن د} = \overline{م م}$$

$$\text{لكن } \overline{س} + \overline{ص} = \overline{ز}$$

فأذن يكون $\overline{س} \times \overline{ال} + \overline{ص} \times \overline{ن} = \overline{ز} \times \overline{م}$
وتقدم أن $\overline{ص} \times \overline{ب} = \overline{ز} \times \overline{و}$

فعليه يكون $\overline{س} \times \overline{ال} + \overline{ص} \times \overline{بن} = \overline{ز} \times \overline{وم}$
فإذا جعلنا حيث $\overline{ل}$ مستقيما كستقيم $\overline{ل م ن}$ محورا للمقادير كان مجموع
مقدارى قوة $\overline{س}$ وقوة $\overline{ص}$ المتوازيين مكافئا لمقدار قوة $\overline{ز}$
الموازنة لهما فيكون سكاثا ايضا لمقدار قوة $\overline{ز}$ التى هى محصلة قوتى
 $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ حيثان $\overline{ز} = \overline{ز}$

ولغرض الآن أن هنالك ثلاث قوى مركبة مثل $\overline{س}$ و $\overline{ص}$ و $\overline{ع}$
(شكل ٢٦) فنبتقلها الى اى محور من مقادير $\overline{م}$ يحدث

اولا $\overline{س} \times \overline{اس} + \overline{ص} \times \overline{بص} = \overline{ز} \times \overline{دز}$
وثانيا $\overline{ز} \times \overline{دز} + \overline{ع} \times \overline{ثع} = \overline{ز} \times \overline{هز}$
فأذن يكون $\overline{س} \times \overline{اس} + \overline{ص} \times \overline{بص} + \overline{ع} \times \overline{ثع} = \overline{ز} \times \overline{هز}$
وبناء عليه يكون مجموع مقادير القوى الثلاثة مساويا لمقدار محصلتها

ويبرهن فى المستوى ايضا على ان مجموع مقادير اربع قوى او خمس او ست
او غير ذلك من القوى المركبة يكون مساويا لمقدار محصلتها مهما كان وضع
محور المقادير واتجاهه

وبناء على ذلك اذا مددنا من كل نقطة من نقط وقوع القوى عمودا على محور
الاتادير كان حاصل ضرب المحصلة فى البعد الموافق لنقطة وقوعها مساويا
لمجموع الحواصل المواقعة لنقط وقوع سائر القوى المركبة

ويحدث من هذه الخاصية العظيمة تطبيقات مهمة على حسابات تحريك الاجسام
والآلات فلا بد للتلاميذ من حفظها وتعليلها على وجه الصحة وال ضبط
وفائدة الخاصية المذكورة هى انها تسير بدون واسطة وضع نقطة وقوع محصلة
ما يراد من القوى المتوازية من غير أن يكون هنالك ما يجبرنا على اخذها شتى
وبلالت الخ

ولذلك نعد مستقيمين عمودين على بعضهما كستقيبي $\overline{وس}$ و $\overline{وص}$

(شكل ٢٧) ثم تنزل من نقط وقوع قوى $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ و $\overline{ر}$ و $\overline{ض}$ الخ وهي $\overline{أ}$ و $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ و $\overline{د}$ الخ باعده $\overline{ا ا}$ و $\overline{ب ب}$ و $\overline{ث ث}$ الخ و $\overline{ا ا}$ و $\overline{ب ب}$ و $\overline{ث ث}$ الخ على $\overline{وس}$ و $\overline{وص}$ فإذا كانت $\overline{غ}$ نقطة وقوع محصلة $\overline{ز}$ فإنه يحدث

$$\overline{غ} \times \overline{ز} = \overline{ح} \times \overline{ا ا} + \overline{ب ب} \times \overline{خ} + \overline{ث ث} \times \overline{ر} + \dots$$

$$\text{و } \overline{غ} \times \overline{ز} = \overline{ح} \times \overline{ا ا} + \overline{ب ب} \times \overline{خ} + \overline{ث ث} \times \overline{ر} + \dots$$

ويستخرج من ذلك

$$(أ) \quad \overline{غ} = \frac{\overline{ح} \times \overline{ا ا} + \overline{ب ب} \times \overline{خ} + \overline{ث ث} \times \overline{ر} + \dots}{\overline{ز}}$$

$$\text{و } \overline{غ} = \frac{\overline{ح} \times \overline{ا ا} + \overline{ب ب} \times \overline{خ} + \overline{ث ث} \times \overline{ر} + \dots}{\overline{ز}} \quad (-)$$

ولانتقل ان محصلة $\overline{ز}$ تساوي مجموع سائر القوى المركبة

فإذا تساوت قوى $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ و $\overline{ر}$ و $\overline{ض}$ الخ وكان عددها $\overline{د}$ (أي غير متناهية) فإن محصلتها $\overline{د} \times \overline{ح}$ فاذن يحدث من مساواة المقادير

$$\overline{غ} \times \overline{ز} = \overline{ح} \times \overline{ا ا} + \overline{ب ب} \times \overline{خ} + \overline{ث ث} \times \overline{ر} + \dots$$

$$\overline{غ} \times \overline{د} \times \overline{ح} = \overline{ح} \times \overline{ا ا} + \overline{ب ب} \times \overline{خ} + \overline{ث ث} \times \overline{ر} + \dots$$

ويؤخذ من ذلك ان $\overline{د} \times \overline{غ} = \overline{ا ا} + \overline{ب ب} + \overline{ث ث} + \dots$

$$\overline{غ} = \frac{\overline{ا ا} + \overline{ب ب} + \overline{ث ث} + \dots}{\overline{د}}$$

فاذن يكون

وعليه فحي كانت القوى المركبة مساوية لبعضها واخذ لكل منها بعد نقطة وقوعها عن محور المقادير وقسم مجموع هذه الأبعاد على عدد القوى فانه يتحصل بعد المحور عن نقطة وقوع المحصلة وهذا الحاصل مستعمل كثير في القنون

وإذا لم يكن هناك الا ثلاث قوى مساوية لقوة $\overline{ح}$ وواقعة على نقط $\overline{أ}$ و $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ الثلاثة التي هي رؤس مثلث $\overline{أ ب ث}$ (شكل ٢٨)

وجعلت قاعدة المثلث المذكور وهي أ ب محورا للمقادير فان بعد
هذا المحور عن تقطعي وقوع القوتين الواقعتين على رأسى أ و ب يكون
حيثئذ معدوما فيكون حاصل ضرب هاتين القوتين في قوة ح معدوما
ايضا فاذن لا يبقى معنا الا هذا التساوى بجمل ر فيه رمزا للمحصلة
وهو ر × غ = ح × ث لكن ر = ٣ ح

فيكون حيثئذ غ = ١/٣ ث على وجه التعديل

وعليه فيكون مركز نقل القوى الثلاثة المتساوية الواقعة على رؤس المثلث
موجودا في ثلث بعد كل رأس عن اتقاعدة التي تقابلها فاذن يكون هذا المركز
عين مركز نقل سعة هذا المثلث (وبمثل ذلك يبرهن مع السهولة على أن مركز نقل
اربعة قوى متساوية واقعة على الرؤس الاربعة من شكل هرمي مثلثي هو عين
مركز نقل حجم الشكل المذكور) وهذه قاعدة شهيرة جتا مستعملة غالبا
في حسابات الميكانيكا

وبجبرّد تحصيل بعدى نقطة ع وهما غ غ و غ غ (شكل ٢٧)
عن مستقي وس و وص نعرف وضع نقطة غ المذكورة
التي هي مركز وقوع القوى

ونقطة غ المذكورة هي بمقتضى تعريف مراكز النقل مركز نقل قوى
ح و خ و ر و ض الخ الواقعة على قطا أ ب و ث و د الخ
(فاذا لم تكن القوى المتوازية كلها في مستو واحد لزم استبدال محاور المقادير
بمستويات المقادير بالاعمد على بعضها فعلى ذلك نستبدل الاعمد على محاور
أ ب و ر الخ بالاعمد على المستويات وفي كلتا الصورتين يكون
مجموع مقادير القوى المركبة مساويا لمقدار المحصلة ويسهل اثبات ذلك
بخواص الخطوط المتناسبة كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

ثم ان القاعدة المذكورة آتاهي وطريق اجرائها يستعملان بدون واسطة
في تحصيل وضع مركز نقل ما يراد من القوى المتفرقة على الخطوط والسطوح
اولا لجوم سوا كان تفرقها مستترا ولا

واذا كان المطلوب تحصيل مركز ثقل الخط الثقيل وهو $\overline{أ ب}$ (شكل ٢٩) فإنه يقسم الى اجزاء صغيرة جدًا متحدة الثقل ويضرب كل جزء منها في بعده عن مستقيم أول كستقيم $\overline{و س}$ ثم عن مستقيم ثان كستقيم $\overline{و ص}$ ثم يقسم بالتوالي مجموع المستقيمات الأولى والثانية على مجموع القوى فيحدث أولا $\overline{غ غ}$ وثانيا $\overline{غ غ}$ ولا يلزم ايضاح الطرق الآتية التي تستعمل لاجل تحصيل مركز ثقل السطوح والحجوم الا بالنسبة للمبنيات فنقول

ان جلاظطة السفن يحتاجون الى قياس سطوح الشراعات وتعيينهم أولا وضع مركز ثقل كل شراع وثانيا مركز ثقل مجموع هذه الشراعات لانه كلما كان هذا المركز الاخير المعروف بمركز الشراعات مرتفعا عن مركز الثقل كان لقوة الهواء شدة يها تميل السفينة وتتقلب حيث لا مانع وما لا نزاع فيه ان جميع الشراعات الدائرة حول نقطة تعليقها تكون كلها نازلة في مستوى تماثل السفينة وتنقسم الى مثلثات يكون كل من مسطحها ومركز ثقلها معيناً فاذا فرض (شكل ٢٧) ان قوى $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ و $\overline{ز}$ المتوازية الدالة على سطح هذه المثلثات واقعة على نقط $\overline{أ}$ و $\overline{ب}$ و $\overline{ت}$ الخ التي هي مراكز ثقل المثلثات المذكورة فإنه يحدث بدون واسطة من معادلتى (١) و (٢) المتقدمتين بعد واسطة $\overline{غ}$ التي هي مركز ثقل الشراعات وهما $\overline{غ غ}$ و $\overline{غ غ}$ عن محوري $\overline{و س}$ و $\overline{و ص}$ اللذين احدهما افقي والاخر رأسي وفي ذلك كفاية في معرفة وضع مركز الشراعات في مستوى تماثل السفينة

ولتكن سعة $\overline{أم}$ المستوية (شكل ٣٠) محدودة بمنحني $\overline{أم}$ وثلاث مستقيمات عمودية على بعضها هي $\overline{أ أ}$ و $\overline{أم}$ و $\overline{م م}$ والمطلوب معرفة مقدار قوة هذه السعة بالنسبة لمستقيم $\overline{أم}$ فلذلك تقسم مستقيم $\overline{أم}$ المذكور الى اجزاء كثيرة عرض كل جزء منها يساوي $\overline{ل}$ ونعتمد نقط المستقيم مستقيمات $\overline{ب س}$ و $\overline{ش د}$ و $\overline{د ه}$ الخ الموازية لمستقيمي $\overline{أ أ}$ و $\overline{م م}$

فاذا اعتبرنا اجزاء معنى ا ب ث د الخ وهي ا ب و ب ث
و ث د الخ الصغيرة جدا كخطوط مستقيمة حدث عن ذلك ان سطح
ا ا م = $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \dots + \frac{1}{4}$
م ا م الخ

واذا فرض اننا استقبلنا من مبدء الامر شكل م ا ب ث د الخ
المتصل بشكل م ا ب ث د الخ المدرج فان مراكز كل
هذين الشكلين وهي $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{4}$ الخ تكون متباعدة عن ا م
بكميات تساوي $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{4}$ ث ث كل نظيره
فاذن تكون مقادير المستطيلات التي يتركب منها الشكل المدرج بالنسبة
لمحور ا م هكذا

$$\begin{aligned} \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} &= \frac{1}{4} \\ \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} &= \frac{1}{4} \\ \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} &= \frac{1}{4} \end{aligned}$$

فيكون المقدار الكلي = $\frac{1}{4} (1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \dots + \frac{1}{4})$
ومن ذلك يعلم ان المقدار الكلي يكون مساويا لمجموع مربعات مستقيمات 11
و $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{4}$ مضروبا في نصف عرض القواعد المتساوية

فاذا اخذنا شكل م ا ب ث د م المدرج كان المقدار الكلي

$$\frac{1}{4} \times (1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \dots + \frac{1}{4})$$

وهالك مقدارين يوجد بينهما مقدار سطح م ا م متصل
احدهما مقدار صغير جدا وهو

$$\frac{1}{4} (1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \dots + \frac{1}{4})$$

ثانها مقدار كبير جدا وهو

$\frac{1}{4} \text{ ل } (\text{بـ} + \text{ثـ} + \text{مـ} + \text{مـ} + \text{مـ} + \text{مـ})$
 فإذا اخذنا المقدار المتوسط بينهما حدث

$\frac{1}{4} \text{ ل } (\frac{1}{4} \text{ اـ} + \text{بـ} + \text{ثـ} + \text{مـ} + \text{مـ} + \text{مـ} + \text{مـ})$
 فإذا ن يكون مقدار السعة او المسطح وهو $\frac{1}{4} \text{ مـ}$ مساو بالنصف عرض لـ
 من جميع الطبقات مضروباً في مجموع مربعات اطوال بـ و ثـ الخ
 المتوسطة وفي نصف مربع طول $\frac{1}{4} \text{ اـ}$ و مـ المتطرفين

فيكون المقدار المحصل قريباً من الحقيقة بقدر ما تكون الطبقات المتقدمة
 كثيرة ومتقاربة من بعضها جداً فإذا قسمنا هذا المقدار على سعة $\frac{1}{4} \text{ اـ}$
 حدث عـ غ الذي هو بعد محو اـ عن مركز ثقل هذه السعة
 وهو عـ

وعليه فيكون $\text{عـ} = \frac{\frac{1}{4} \text{ اـ} + \text{بـ} + \text{ثـ} + \dots + \frac{1}{4} \text{ مـ}}{\frac{1}{4} \text{ اـ} + \text{بـ} + \text{ثـ} + \dots + \text{مـ}}$

ثم ان حساب مقدار هذا الكسر هو سهل شئ الا انه ينبغي فيه التأنى
 وكذلك يسهل تحصيل هذا المقدار بالهندسة بواسطة المثلثات القائمة الزوايا
 التي خاصيتها ان مربع الوتر يكون مساوياً بمجموع مربعي الضلعين الآخرين
 وقد استبان من ذلك ان خواص الهندسة عامة النفع في حل مسائل
 الميكانيكا

وقد تكون الطريقة التي ذكرناها اقل اعاماً فتستعمل في سطوح اى شكل
 وليكن المطلوب تحصيل بعد محو سـ صـ عن نقطة غـ التي هي
 مركز ثقل سعة $\text{اـ بـ ثـ} \dots \text{مـ ثـ اـ}$ (شكل ٣١) فمقدار
 متوازيات $\frac{1}{4} \text{ اـ}$ و بـ و ثـ و دـ الخ التي على بعد
 واحد من بعضها وليكن عـ و غـ مركزى ثقل شكل

المتصل حدث

$$\overline{\text{مقدار}} \quad \overline{\text{أ}} \times \overline{\text{ب}} = \overline{\text{أ} \times \text{ب}} \quad \frac{1}{4}$$

$$\text{ومقدار} \quad \overline{\text{ر}} \times \overline{\text{ث}} = \overline{\text{ر} \times \text{ث}} \quad \frac{3}{4}$$

$$\text{ومقدار} \quad \overline{\text{د}} \times \overline{\text{و}} = \overline{\text{د} \times \text{و}} \quad \frac{9}{4}$$

فاذن يكون المقدار الكلي مساويا

$$\overline{\text{أ}} \times \overline{\text{ب}} + \overline{\text{ر}} \times \overline{\text{ث}} + \overline{\text{د}} \times \overline{\text{و}} = \overline{\text{أ} \times \text{ب} + \text{ر} \times \text{ث} + \text{د} \times \text{و}} \quad (-)$$

وبأخذ نصف مجموع مقادري (أ) و (-) يحدث

$$\overline{\text{أ}} \times \overline{\text{ب}} + \overline{\text{ر}} \times \overline{\text{ث}} + \overline{\text{د}} \times \overline{\text{و}} = \overline{\text{أ} \times \text{ب} + \text{ر} \times \text{ث} + \text{د} \times \text{و}} \quad (ج)$$

ونستخرج ذلك الى م م الذي لا يضرب في ضعف عدد الطبقات الموافقة له بل يضرب في عددها البسيط فقط فيكون مقدار (ج) مضموما على سطح

أ ب ث د الخ يساوي غ غ

ثم ان صناعات السفن يحتاجون الى تعيين مسطح ومركز ثقل ومقدار القطاعات الاولية المتنوعة المصنوعة في القارين (اي الجزء الاسفل من السفينة) والمنتهية بمحيطات يسمنها خطوط الماء وخطوط التوجيه واسهل الطرق في ذلك الطريقة التي ذكرناها فيلزم أن تكون هذه الطريقة المستعملة عند المهندسين البحريين مستعملة ايضا عند صناعات سفن التجارة ومن هذا القبيل ايضا الطريقة التي ذكرناها لتعيين وضع مركز ثقل الاجسام الصلبة ومقدارها

فلننتقل وضع مركز ثقل الجسم الصلب الى مستوى المسقط المتقاطعين وهما المستعملان في الهندسة الوصفية (كما تقدم في الدرس الثالث عشر من الهندسة)

ولنقطع الجسم الى طبقات رأسية متحدة السمك موزاها بمجروف
 ١ و ٢ و ٣ الخ والى طبقات اقية مبنية باعداد ١ و ٢ و ٣ الخ ومتحدة السمك ايضا ويكون ترتيب الارتفاع بالاعلى ترتيب الطبقات
 فاذا فرضنا (شكل ٣١) ان سعة أ ب ث د الخ قاعدة اسطوانة

قائمة فان مركز ثقل هذه الاسطوانة يكون ساقطا سقوطا اقويا على مركز ثقل السعة المذكورة ويحدث من المعادلات المتقدمة بعد مركز ثقل الاسطوانة المذكورة بالنسبة لمحورين عمودين على بعضهما

ولتوهم اقسام اى حجم كسيفينة مثلا الى عدة طبقات افقية على بعد واحد من بعضها ومرتومة على الصورة التى فى شكل ٣٢ وتوهم ايضا ان سطح السفينة عوضا عن أن يكون متصلا يكون مدرجا بحيث يكون كدرج السلالم المعوجة على حسب صورة الجسم الصلب وكلما تكاثرت الدرج المسمى فى اصطلاحهم بالمدرجات كان الجسم المدرج قريبا من الجسم الذى يكون سطحه متصلا وبالجملة اذا فرضنا ان $\overline{ش}$ هو الارتفاع الرأسى لساير الطبقات او المدرجات حدث

(اقولا) ان حجم كل درجة من السلالم يكون مساويا $\overline{ش}$ مضروبا فى سطح الطبقة المستعملة قاعدة للمدرج
(وثانيا) ان مركز ثقل الدرجة يكون ساقطا سقوطا اقويا على مركز ثقل الطبقة المستعمل قاعدة لهذا المدرج

(وثالثا) ان ارتفاع $\overline{ش}$ مضروبا فى مقدار الطبقة يكون مساويا لمقدار المدرج الذى تكون سعة هذه الطبقة قاعدة له

(ورابعا) ان مجموع ججوم المدرجات يكون دالا على حجم $\overline{ق}$ الكلى للجسم المفروض

(وخامسا) ان مجموع مقادير المدرجات يكون دالا على المقدار الكلى للجسم المذكور

وحينئذ اذا كانت المقادير مأخوذة بالنسبة لمحور $\overline{و ه}$ وكان مجموعها $\overline{م}$

حدث $\overline{غ غ} = \frac{\overline{م}}{\overline{ق}}$ فاذا كانت مأخوذة بالنسبة لمحور $\overline{و س}$ وكان

$$\text{مجموعها } \overline{m} \text{ فانه يحدث } \overline{w} \text{ غ } = \frac{r}{q}$$

ولا يخفى ما في هذه الطريقة من الإيجاز والسهولة فلهذا كانت مستعملة عند علماء النظريات وغيرهم ونافعة لجميع المهندسين والصنائعية الذين يريدون حساب وضع مركز ثقل أي جسم على وجه العصاة والضبط هذا ولا نبالي من تكرير القول بأن معرفة هذه الطريقة بما لا بد منه خصوصا لصناع السفن ولا مانع أن البحارة إذا عرفوها حق المعرفة وأجروا ما مثلها من الطرق يستفيدون منها فوائد جليلة تتعلق بسفنتهم

وقد اقتصرنا هنا على ذكر الوضع الشهير لمركز ثقل عدة سطوح وعدة اجسام صلبة مهمة في الصناعة وإقينا للتلاميذ الذين يريدون التبحر في المعارف الاطلاع على الكتب الجليلة المولفة في هذا المعنى وثابت ما ذكره من الخواصل فنقول

ان مركز ثقل المنشور او الاسطوانة يكون على بعد واحد من القاعدتين العليا والسفلى وبقطع المنشور او الاسطوانة الى جزئين متساويين بمستوى مواز لهاتين القاعدتين يكون مركز ثقل القطاع عين مركز ثقل المنشور او الاسطوانة

فاذا اخذنا مركز ثقل كل قاعدة من المنشور او الاسطوانة ووصلنا بين المركزين بمستقيم واحد فان منتصف هذا المستقيم يكون مركز ثقل اما المنشور او الاسطوانة

(فاذا كان المنشور قائما كان المستوى الذي يقسمه الى قسمين متساويين بالتوازي للقاعدتين على بعد واحد من هاتين القاعدتين مستوى قائم فاذا كان يكون محتويا على مركز ثقل المنشور

ولنفرض انقسام المنشور المذكور الى كثير من الطبقات الموازية للقاعدتين فتكون مراكز ثقل هذه الطبقات تقريبا عين مراكز ثقل سطوحها وموجوده

على مستقيم واحد. وازلاضلاع المنشور ويكون حينئذ مركز ثقل هذا المنشور. وجودا على منتصف المستقيم المذكور فإذا فرضنا ان القطوع المذكورة تتحرك على بعضها بالتوازي بحيث تكون مراكز ثقلها موجودة دائما على مستقيم واحد فإنه يحدث عن ذلك حجم مدرج مركز ثقله موجود دائما على المستقيم الواصل بين هذه المراكز

وكما فرضت الطبقات رقيقة وعديدة كان الحجم المدرج قريبا من المنشور المائل بدون أن يكون ذلك مانعا من أن يكون وضع مركز ثقل هذا الحجم على بعد واحد من المستويات المحددة للطبقات المنظرية فإذا كان مركز الثقل في المنشور المائل او القائم موجودا في منتصف المستقيم المار بمركز ثقل القاعدةين

ويظهر من تحليل الاسطوانة النائمة الى اسطوانات مدرجة تكون كل درجة منها اصغر من التي يجانبها ان مركز ثقل الاسطوانة المائلة او القائمة يكون موجودا في منتصف المستقيم الواصل بين مركزي ثقل القاعدةين

ويحدث من فسمه مجموع اضلاع المنشور الناقص على عدد الاضلاع بعد القاعدة عن مركز ثقل ذلك المنشور وذلك يكون قياس هذا البعد بمستقيم مواز للاضلاع

فإذا اخذنا مركز ثقل قاعدة هرم او مخروط ووصلنا بينهما وبين الرأس بمستقيم ثم اخذنا ربع هذا المستقيم بالابتداء من القاعدة واخذنا لاثه ارباعه بالابتداء من الرأس فان النقطة التي يجدها تكون مركز ثقل اما للهرم او المخروط المذكورين

(وإذا قسمنا الهرم المثلثي الى طبقات رقيقة جدا بواسطة مستويات موازية للقاعدة وجدنا ان مراكز ثقل هذه الطبقات تكون موجودة في مراكز ثقل القطاعات الموازية للقاعدة ولكن حيث ان هذه القطاعات متشابهة ونقطتها المتقابلة موجودة على مستقيم واحد مع رأس الهرم فان مراكز الطبقات المذكورة وكذلك مركز الهرم تكون موجودة على المستقيم الواصل بين مركز

نقل القاعدة والرأس وذلك يوافق الرأس الأربعة والأوجه المقابلة لها
 وليكن $\overline{غ}$ (شكل ٢٣) مركز نقل قاعدة $\overline{ابث}$ الهرم
 ض $\overline{ابث}$ فيكون $\overline{كغ} = \frac{1}{4} \overline{كب}$ وليكن أيضا $\overline{غ}$
 مركز نقل ض $\overline{اث}$ فيكون $\overline{كغ} = \frac{1}{4} \overline{كض}$ فاذن
 اذا مددنا $\overline{غغ}$ و $\overline{عغ}$ فان خطي $\overline{كض}$ و $\overline{كب}$
 يكونان مقطوعين قطعا مناسبا وعليه فيكون $\overline{غغ}$ ثلث $\overline{بص}$
 وكذلك $\overline{كع}$ يكون ثلث $\overline{كب}$ و $\overline{كع}$ ثلث $\overline{كص}$
 فبسبب تشابه مثلثي $\overline{غغغ}$ و $\overline{غبض}$ يكون $\overline{غغ} = \frac{1}{4}$
 $\overline{غص}$ وبناء عليه يكون $\overline{غغ} = \frac{1}{4} \overline{ضغ}$ فاذن يكون مركز
 نقل الهرم موجودا في ربع بعد الرأس عند مركز نقل القاعدة
 ومركز نقل سطح الكرة وحجمها موجود في مركز ثقلها
 ومركز نقل الطيلسان الكروي موضوع على محور التماثل او على سهم الطيلسان
 ويكون في منتصف هذا السهم
 ومركز نقل وحجم سطوح الدوران موضوع على محوري تماثلها
 فاما مددنا مستويا فاطعامن محور مخروط قائم مستدير تام او ناقص فان مركز
 نقل المثلث او شبه منحرف القطاع يكون مركز نقل سطح المخروط التام
 او المخروط الناقص
 ومركز نقل حجم الكرة يكون في ثلاثة اثمان نصف القطر بالابتداء
 من المركز
 ومركز نقل قطعة القطع المكافئ يكون في ثلاثة اجزاء السهم بالابتداء
 من الرأس
 ومركز نقل قطعة الحزم المكافئ المتوالتين دوران القطع المكافئ على محوره

على مستقيم واحد مواز لاضلاع المنشور ويكون حيث مركز ثقل هذا المنشور موجودا على منتصف المستقيم المذكور فاذا فرضنا ان القطوع المذكورة تتزحلق على بعضها بالتوازي بحيث تكون مراكز ثقلها موجودة دائما على مستقيم واحد فانه يحدث عن ذلك حجم مدرّج مركز ثقله موجود دائما على المستقيم الواصل بين هذين المراكز

وكما فرضت الطبقات رقيقة وعديدة كان الحجم المدرّج قريبا من المنشور المائل بدون أن يكون ذلك مانعا من أن يكون وضع مركز ثقل هذا الحجم على بعد واحد من المستويات المحددة للطبقات المتطرفة فاذن يكون مركز الثقل في المنشور المائل او القائم موجودا في منتصف المستقيم المار بمركز ثقل القاعدتين

ويظهر من تحليل الاسطوانة القائمة الى اسطوانات مدرّجة تكون كل درجة منها اصغر من التي يجانبها ان مركز ثقل الاسطوانة المائلة او القائمة يكون موجودا في منتصف المستقيم الواصل بين مركزي ثقل القاعدتين

ويحدث من قسمة مجموع اضلاع المنشور الناقص على عدد الاضلاع بعد القاعدة عن مركز ثقل ذلك المنشور وذلك يكون بقياس هذا البعد بمستقيم مواز للاضلاع

فاذا اخذنا مركز ثقل قاعدة هرم او مخروط ووصلنا بينهما وبين الرأس بمستقيم ثم اخذنا ربع هذا المستقيم بالابتداء من القاعدة او اخذنا ثلاثة ارباعه بالابتداء من الرأس فان النقطة التي نجد هاتين تكون مركز ثقل اما للهرم او المخروط المذكورين

(واذا قسمنا الهرم المثلثي الى طبقات رقيقة جدا بواسطة مستويات موازية للقاعدة وجدنا ان مراكز ثقل هذه الطبقات تكون موجودة في مراكز ثقل القطاعات الموازية للقاعدة ولكن حيث ان هذه القطاعات متشابهة ونقطتها المتقابلة موجودة على مستقيم واحد مع رأس الهرم فان مراكز الطبقات المذكورة وكذلك مركز الهرم تكون موجودة على المستقيم الواصل بين مركز

نقل القاعدة والرأس وذلك يوافق الرأس الأربعة والأوجه المقلبة لها
 وليكن $\overline{غ}$ (شكل ٢٣) مركز نقل قاعدة $\overline{ابث}$ لهرم
 $\overline{ض ابث}$ فيكون $\overline{كغ} = \frac{1}{3} \overline{كب}$ وليكن أيضا $\overline{غ}$
 مركز نقل $\overline{ض اث}$ فيكون $\overline{كغ} = \frac{1}{3} \overline{كض}$ فاذن
 اذا مددنا $\overline{غ غب}$ و $\overline{غ غض}$ فان خطي $\overline{كض}$ و $\overline{كب}$
 يكونان مقطوعين قطعا مناسبا وعليه فيكون $\overline{غغ}$ ثلث $\overline{بص}$
 وكذلك $\overline{كغ}$ يكون ثلث $\overline{كب}$ و $\overline{كغ}$ ثلث $\overline{كص}$
 فبسبب تشابه مثلثي $\overline{غغغ}$ و $\overline{غبض}$ يكون $\overline{غغ} = \frac{1}{3} \overline{غص}$
 $\overline{غض}$ وبناء عليه يكون $\overline{غغ} = \frac{1}{3} \overline{ضغ}$ فاذن يكون مركز
 نقل الهرم موجودا في ربع بعد الرأس عند مركز نقل القاعدة
 ومركز نقل سطح الكرة وحجمها موجود في مركز ثقلها
 ومركز نقل الطيلسان الكروي موضوع على محور التماثل او على سهم الطيلسان
 ويكون في منتصف هذا السهم
 ومركز نقل وحجم سطوح الدوران موضوع على محوري تماثلها
 فاذا مددنا مستويا قاطعا من محور مخروط قائم مستديرا تام او ناقص فان مركز
 ثقل المثلث او شبه منحرف القطاع يكون مركز ثقل سطح المخروط التام
 او المخروط الناقص
 ومركز ثقل حجم نصف الكرة يكون في ثلاثة اثمان نصف القطر بالابتداء
 من المركز
 ومركز ثقل قطعة القطع المكافئ يكون في ثلاثة اثمان السهم بالابتداء
 من الرأس
 ومركز ثقل قطعة الحجم المكافئ المتولد من دوران القطع المكافئ على محوره

يكون في ثلثي المحور بالابتداء من الرأس

* (بيان استعمال مراکز الثقل لاجل تحصيل حجم بعض الاجسام) *

فيبقى أن نفسر ونوضح هنا ما بين تعيين بعض الججوم وتعيين مركز ثقل بعض السطوح من المناهضة العظيمة فنقول

لتفرض ان مركز ثقل $\overline{غ}$ (شكل ٢٢) لسطح دائري حول محور $\overline{وو}$ يكون معينا غير سم محيط $\overline{وم}$ وفي حال الثقل $\overline{س}$ سطح دوران ويكون الحجم المحصور في سطح الدوران المذكور مساويا لسطح $\overline{وم}$ ومضروباً في الدائرة التي قطعها مركز $\overline{غ}$

ولا ثبات ذلك فخذ من محور $\overline{وو}$ مستويين كستوي $\overline{وع}$ و $\overline{وغ}$ متقاربين من بعضهما قريبا كليا بينهما زاوية صغيرة جدا فيمكن أن يعتبر ان الجسم منته بشقة اسطوانية بين المستويين المذكورين فيكون للاسطوانة الناقصة قاعدة كقاعدة $\overline{وم}$ وعلى مستوى $\overline{وع}$ فاذا قسمنا هذه القاعدة الى مربعات صغيرة متساوية كان كل واحد منها قاعدة منشور صغير قائم منته بمستوى $\overline{وغ}$

وليكن $\overline{س}$ مركز احد هذه المربعات الصغيرة فاذا امددنا من نقطة $\overline{س}$ التي هي مركز المربع المذكور خط $\overline{س$ موازيا لمحور $\overline{وو}$ فانه يحدث معنا حجم منشور منشور $\overline{س$ تكون قاعدته $\overline{س}$ ومركزه $\overline{س}$ وقاعه ويكون مساويا $\overline{وم} \times \overline{س}$ وعليه فهذه الحاصل هو مقدار $\overline{س}$ المنقول على مستوى $\overline{وغ}$ بالنسبة الى مستوى $\overline{وع}$ فاذا كان يكون مجموع ججوم المنشورات اعني حجم قطع $\overline{وع}$ مساويا لمجموع مقادير $\overline{وم}$ وفي مستوى $\overline{وغ}$ بالنسبة لمستوى $\overline{وع}$

فاذا اسقطنا في $\overline{غ غ}$ نقطة $\overline{غ}$ التي هي مركز ثقل $\overline{وم و}$ وحدث

سطح $\overline{وم و} \times \overline{غ غ} =$ مجموع مقادير $\overline{وم و}$ و الموضوع
في مستوى $\overline{وغ}$ بالنسبة الى مستوى $\overline{وغ}$ فاذن يكون الحاصل
هكذا

سطح $\overline{وم و} \times \overline{غ غ}$ يساوي حجم جز من جسم الدوران محصور
بين $\overline{وغ}$ و $\overline{وغ}$

وعلى ذلك فيكون $\overline{غ غ}$ مساويا للمسافة التي يقطعها مركز $\overline{غ}$
لينتقل من مستوى $\overline{وغ}$ الى مستوى $\overline{وغ}$ متى فرضنا ان المستويين
متقاربان من بعضهما تقاربا كليا

فاذن يحدث من سطح $\overline{وم و}$ ومضروب في مسافة $\overline{غ غ}$ التي يقطعها
مركز ثقله عند دورانه حول محوره وهو $\overline{وو}$ حاصل مساو لحجم جزء من
جسم الدوران محصور بين مستويي $\overline{وغ}$ و $\overline{وغ}$

ويمكن أن نتوهم عدة مستويات بقدر ما يراى تكون متقاربة من بعضها بالكلية
ومارة بالمحور فيكون حجم جزء جسم الدوران المحصور بين هذه المستويات
مينا يحصل ضرب سعة $\overline{وم و}$ في المسافة التي يقطعها مركز ثقل
هذه السعة

وعلى ذلك متى كان الجسم حادثا من سعة مستوية دائرة حول محور كان حجم
هذا الجسم مساويا لحاصل ضرب السعة في المسافة التي يقطعها في هذا التحرك
مركز ثقل هذه السعة

والاثبات المتقدم يبقى على حالة واحدة متى كانت سعة $\overline{وم و}$ الدائرة
حول $\overline{وو}$ لاجل الانتقال من $\overline{وغ}$ الى $\overline{وغ}$ دائرة حول محور ثان
مرسوم في مستوى السعة لاجل قطع جزء كبير او صغير من سطح الدوران

الجديد ثم حول محور ثالث مرسوم في مستوى السعة وهكذا
وفي جميع هذه الاحوال يكون الحجم المنتهي بسطح جديد مساويا لسطح السعة
الراجعة مضروبا في المسافة التي يقطعها مركز ثقل هذه السعة

(تطبيق)

هذه الطريقة السهلة مستعملة عند المعمارجية الماهرين في حساب هجوم
او كيات الاجار والحديد والاشخاب التي تحتوى عليها السلام الحارونية
والعقودات المستديرة ومستعملة ايضا عند مهندسى القناطر والجسور
في حساب حفر وردم الخلبان وكذلك عند الطوبجية في حساب حجم الاجزاء
المستديرة من المخارج النارية وهلم جرا ويكثر استعمالها ايضا عند
صناع السفن في تكعيب الاشخاب

ويجب على التلامذة أن يلتفتوا كل الالتفات الى ما بين خواص الهندسة
والميكانيكا من الروابط الاكيدة فان الميكانيكا بدون الهندسة ليست الاعمال
بلا علم وممارسة بلا موقف وربما استحالت بدونها وكذلك الميكانيكا لا بد
للهندسة منها فانها تكسب الهندسة اشغالا مهمة وذلك لانها تحدث لها
آلات متنوعة لاجل اجراء سائر العمليات الدقيقة على وجه الصحة والضبط
والسهولة ولشجر الآلة عن ساعد الجهد والاجتهاد في بيان النسب التي لا بد منها
لهذين العليين الظرفين لاجل تطبيقهما معا على الصناعة فتقول

(الدرس الخامس)

(في بيان ما بقى من قوانين التحرك)

قد تقدم الكلام على قوانين التحرك الحاصل من القوى المتجهة على مستقيم
واحد وتقدم ايضا انه اذا كان قوتان واقعيتين على نقطة مادية في اتجاه واحد
مدة زمن معلوم كانت المسافة الكلية المقطوعة في هذا الزمن باقية على حالة
واحدة متى كانت النقطة المادية متحركة في مبداء الامر بالقوة الاولى ثم بالقوة
الثانية

فاذا فرضنا مثلاً ان سفينة سارت مع الانتظام والرياح تدفعها من خلفها

وكان عليها ملاح يسير من مؤخرها الى مقدمها مع الاضطام ايضا وفرضنا ان هذا الملاح وصل بعد زمن معلوم الى المقدم متبعا اتجاه سير السفينة فان المسافة الكلية التي يقطعها تكون عين المسافة التي يقطعها الوساير من المؤخر الى المقدم في الزمن المذكور حال استقرار السفينة واذا كان الملاح مستقرا والسفينة سائرة فان الريح يتقله معها بالاضطام في الزمن المعلوم بالسرعة الاصلية لها

وليست المسافات المقطوعة وحدها هي التي تبقى على حالها في هاتين الصورتين بل كذلك القوة الكلية المستعملة لتحريك الملاح والسفينة فانها ايضا تبقى على حالها ولا يلزم للسفينة والملاح اكثر من قوة واحدة سواء كن تحركهما حاصلات في زمن واحد وفي ازمة متوالية

والمسافة الكلية المقطوعة بواسطة القوتين المؤثرتين معا هي في الصورتين المذكورتين مجموع المسافات المقطوعة اذا كان كل من القوة التي تسير السفينة الى الامام والقوة التي تسير الملاح كذلك مؤثرا على حدة ولنفرض الآن ان الملاح عند تقدم السفينة يرجع القهقري من المقدم الى المؤخر فالحاصل حيثئذ يكون كالملاح مستقرا والسفينة تتقدم او بالعكس بمعنى انها مستقرة وهو تأخر فبنا على ذلك تكون المسافة الكلية المقطوعة عند حصول التحركين معا مساوية لفاضل المسافات المقطوعة متى كان الملاح منخرقا بقوته الاصلية دون غيرها او كان منخرقا بالقوة التي تتقدم بها السفينة

واقول ان خاصية المادّة وهي كونها تقطع المسافة الكلية في زمن معلوم اذا كانت عدة قوى مؤثرة معا على اتجاه واحد وكلن تأثيرها بالتعاقب في الزمن المذكور ليست مقصورة على الاجسام المعدة للتحرك بتأثير القوى المتجهة على مستقيم واحد بل هي عامة مهما كان اتجاه تلك القوى

فاذا اردت أن تعرف لذلك مثلا سهلا يستعمل كثيرا في التحركات المركبة فضع نفسك في زورق وسرفيه من جهة الى اخرى حال استقراره فان سارا الى

الامام في جهة الطول فانك لانستمر على هذا التحرك الانتقال بالسرعة
المنتظمة ولو استعملت كمية واحدة من القوة لتحرك بها
فاذا اطلقت بندقة او طبخية من قطعة من السفينة الى اخرى فان الرصاصة تصل
الى النقطة المعينة اذا كانت السفينة مستقرة او متحركة بشرط أن لا يتغير
هذا التحرك لمدة المسافة التي قطعها الرصاصة من وقت خروجها من البندقة
او الطبخية الى الهدف العين ولنبحث عن الطريق الذي تسلكه الرصاصة
لمذكورة فنقول

نفرض ان الرصاصة او غيرها من الاجسام بجسم \overline{A} (شكل ١) تكون
مدفوعة بقوتين من رموز اليها يسمى \overline{AS} و \overline{AV} فان اثر القوة
الاولى وحدها فانها تسير جسم \overline{A} في ازمة متساوية مسافات $\overline{A-}$
و $\overline{S-}$ و $\overline{S-}$ الخ المتساوية على مستقيم \overline{AS} الذي هو امتداد
 \overline{AS} وان اثر القوة الثانية وحدها فانها تسير جسم \overline{A} المذكور في تلك
الازمنة المتساوية مسافات $\overline{A-}$ و $\overline{S-}$ و $\overline{S-}$ الخ المتساوية على مستقيم
 \overline{AV} الذي هو امتداد \overline{AV}

فاذا اثرت قوة \overline{AS} وحدها مدة الزمن الاول فانها تنقل جسم \overline{A} الى $\overline{S-}$
ثم اذا اثرت قوة \overline{AV} وحدها مدة زمن مساو للزمن المذكور في اتجاهها
الاصلي فانها تسير جسم \overline{A} على مستقيم $\overline{S-}$ المساوي لمستقيم $\overline{A-}$
والموازي له

واذا اثرت قوة \overline{AS} وحدها في الزمنين الاولين فانها تنقل جسم \overline{A} الى $\overline{S-}$
ثم اذا اثرت قوة \overline{AV} وحدها مدة زمنين مساويين للزمنين المذكورين
فانها تسير جسم \overline{A} على مستقيم $\overline{S-}$ المساوي لمستقيم $\overline{A-}$
والموازي له وهكذا

وبالجملة فقط \overline{B} و $\overline{S-}$ و $\overline{D-}$ الخ التي ينقل فيها الجسم حين تكون
قوتا \overline{AS} و \overline{AV} مؤثرتين على التعاقب هي عين النقط التي يصل اليها
هذا الجسم متى فرض ان هاتين القوتين تؤثران معامدة زمن واحد وايضا

خاصية الخطوط المناسبة (راجع الدرس الخامس من الهندسة) التي يحدث منها

أ : ر ب :: أ ث :: أ د :: أ ه ...

تستلزم أن تقطع أ و ب و ث و د الخ تكون على مستقيم واحد

وإن اشكال أ ر ب و أ ث د و أ د ه الخ تكون متوازية

الاضلاع ويكون لهما وتر موضوع على مستقيم أ ب ث د الخ فذن

مقي وقع على الجسم تأثير قوتين فإنه يفرز على مستقيم واحد ويتبع وتر

متوازي الاضلاع الذي يكون كل ضلع منه دال على المسافة التي يقطعها الجسم

المذكور إذا كان مدفوعاً بعمدة زمن واحد بإحدى القوتين المركبتين

وعليه فمقي كان القوتان المركبتان مبيتين مقدارا واتجاهاً بمستقي أ

و أ ر فإن محصلتهما تكون مينة أيضاً مقدارا واتجاهاً بوتر متوازي

الاضلاع وهو أ ر ب الذي ضلعه أ ر و أ ه وهذا هو المسعى

بمتوازي الاضلاع للقوى

(ولامانع من أن نبرهن على خاصية متوازي الاضلاع للقوى برهنة صحيحة

فتقول

لفرض قوتين جينما اتفق كقوتى س و ص المبيتين (شكل ٢)

بمستقي أم و أن ونتم بهذين المستقيمين متوازي الاضلاع وهو

أم س ن ولنوقع على نقطة ن من مستقيم س ن وعلى

امتداد قوتين متضادتين كقوتى س و ص مساويتين لقوة ص

فيعدمان بعضهما ولا يغيران محصلة س و ص

ونركب الآن س مع س و ص مع ص

فاذا كانت ص المتجهة على ش ك محصلة قوتى س و س

المتوازيتين حدث

س : س :: أن : ن س :: أ ش : ش ن

لكن حيث ان خط $ش ك$ مواز لـ $ن$ فيحدث من خاصية الخطوط
المتناسبة (كما في الدرس الخامس من الهندسة)

$ان : ن$:: $اش : ش ك$

فاذن يكون $ش ك = ش ن$ وبذلك مستقيم $ك ن ر$ تكون

زاويتا مثلث $ك ش ن$ وهما $ش ك ن$ و $ش ن ك$

متساويتين وكذلك زاوية $ك ن$ تكون مساوية لكل منهما

فاذن يقسم مستقيم $ك ن ر$ زاويتي $ان$ و $ص ن$ الى

الجزئين متساويتين وحيث ان قوتي $ص$ و $ص$ متساويتان

فان محصلتهما هي $ر$ تكون موضوعة على $ك ن ر$ اذ لا مقتضى

لكونها تقرب من احدى قوتي $ص$ و $ص$ المذكورتين اكثر من

الآخرى

فعلى ذلك تكون محصلة قوتي $س$ و $ص$ عين محصلة قوتي $ص$ و $ر$

لكن تكون محصلة القوتين الاوليين مارة بنقطة $ا$ المشتركة بينهما وتكون

محصلة القوتين الاخيرين مارة بنقطة $ك$ المشتركة بينهما فاذن تكون

محصلة $س$ و $ص$ مارة بنقطة $ا$ و $ك$ اعني انها تكون مارة

بمستقيم $ا ك$ الذي هو وتر متوازي الاضلاع وهو ام $ن$

الذي ضلعا وهما ام $و$ ان $د$ لان على قوتي $س$ و $ص$

المركبتين

ولاجل تحصيل مقدار محصلة $ز$ المتجهة على $ا$ (شكل ٣) نجعل $ز$

مساويا ومضادا لهذه القوة وعليه فتكون قوتي $س$ و $ص$ و $ز$

متوازنة وتكون كل قوة منها مساوية ومضادة لمحصلة القوتين الاخرين

ولترسم متوازي اضلاع يكون وزه متجهها على \overline{AM} وضلعاه متجهين على
 \overline{AN} و $\overline{AE} = \overline{AE}$ فقي اريد أن \overline{AN} يكون دالا على
 المركبة الاولى وكان \overline{AM} اتجاه محصلة \overline{S} وكلت المركبة الثانية
 وهي \overline{Z} متجهة على \overline{AE} لزم أن يكون \overline{AE} ضلعاه من متوازي
 الاضلاع وهو \overline{AN} \overline{M} \overline{E} فاذن يكون $\overline{AE} = \overline{AN} = \overline{AE}$
 فتكون محصلة $\overline{Z} = \overline{Z}$ مينة المقدار والاتجاه بمستقيم \overline{AE} وهو
 وز متوازي الاضلاع وهو \overline{AM} \overline{N} اذا كان \overline{AM} و \overline{AN} اللذان
 هما ضلعاه متوازي الاضلاع المذكورين على المركبتين
 وكلما كان متوازي الاضلاع للقوى مطبقا على ما ينشأ عن الاعضاء من
 الحركات الصغيرة وعلى حركات الآلات المستعملة والحركات الخارجة التي
 نغير على عملها لزم أن نعتبر في سائر الاحوال ان مانستعمله من القوى المركبة
 يكون متجهها على وجه بحيث يحدث منها محصلة متجهة بنفسها الى الجهة التي
 يظهر لنا انها مواهة وان كمية القوى المدومة تكون قليلة مهما ممكن هذا
 وقد تجاسرنا على أن نمحق ان الممارسة المحسوبة بالاقتناء والمواظبة
 في القوريات والورش يحدث منها في القوة والزمن وفرة فوائد عظيمة وتيسره
 التباعد عن الاخطار الموهولة ولنوضح ذلك بمثال يكثر وقوعه مع ما فيه غالبا
 من الضرر فنقول

اذا كانت حركة العربى سريعة فازيجت راكبها فوثب من بابها ونط الى الارض
 فان جسمه يكون مدفوعا اولاً بتحرك هذه العربى الاثقي وثانياً بقوة
 التناقل الرأسية فتكون محصلة القوتين المائلة سبياً في وقوع هذا الشخص
 حين يصل الى الارض وحيث كان الوتر الدال على محصلة القوتين مؤثراً مع
 الانحراف فان هذا التطار الذي يمر بمركز ثقل هذا الشخص لا يمر برجليه
 اذا كان منتصباً فينبغي له حتى لا يقع أن يميل كثيراً عند التط بالجزء الاعلا

من جسمه الى الجهة التي تأتي منها العربة وكثيرا ما تزلت اعضاء الناس بل منهم من هلك عند النط من عربة تجرودة بافراس ازيجتهم مرعتها وما ذاك الا لجهلهم بهذه الكيفية ودهشهم عند حصول الخطر

ومنى كان ضلعان كضلعى **أ ب** و **أ ث** من شكل متوازى الاضلاع (شكل ٤) متساويين حدث من ذلك شكل معين وقسم الوتر الزاوية الواقعة بين الضلعين الى جزئين متساويين وعليه ففى **ك** كان قوتان متساويتين فان محصلتهما تقسم الزاوية الحادة منهما الى جزئين متساويين فيؤخذ من ذلك انه لا داعى لان تكون المحصلة قريبة من مركبة أكثر من اخرى

ولجميع الطيور شكل متماثل بالنسبة لمستوى **أ د** الرأسى (شكل ٥) الممتد من رؤسها الى اذيانها متى كانت منتصبه مع الاستقامة فاذا طارت حدث من اجنتها حركات متماثلة وضربت الهواء الذى يرد تلك الاجنحة بقوتين متساويتين موضوعتين على وجه متماثل بالنسبة لمستوى **أ د** فاذن تكون محصلة هاتين القوتين موضوعة فى هذا المستوى ودافعة لكل طائر على اتجاها مابين هذا المستوى

وكلا كان ذراعا الانسان وساقاه مستعده على وجه متماثل كان جاباه متماثلين ولا جمل تحصيل تأثير ميكانيكى ايا كان يلزم ان محصلة مجهودات هذه الاعضاء تمر بمستوى الجسم الانسانى

ومثال هذا التأثير يؤخذ من تعليم فن العوم وذلك لان العائم لاجل أن يقع الطريق المتجهة على مستوى تماثل جسمه يصنع حركات متماثلة يديه ورجليه كما فى (شكل ٦) ويعين اندفاع الماء على راحتي اليدين واخمس الرجلين بسهم **ف و ف و ف و ف و ف** والمحصلتان برمزي **ر و ر**

والسجل التماثل الصورة له بالنسبة للمستوى الرأسى الممتد من رأسه الى ذنبه (شكل ٧) امسا ط موضوعة بالتماثل على جانبيه يحركها مع السوية كما ان العائم يحرك يديه ورجليه بحيث يحدث من ذلك ومن مستوى التماثل زاوية واحدة وهذا هو سبب كون المحصلة تكون فى هذا المستوى وتحدث

سيراً مستقيماً

وكذلك السفن المصنوعة على صورة السمك لها مستواً في متماثل ومتجه من المؤخر إلى المتقدم فتي أريد تسيير السفينة استعمل لذلك قوى متساوية موضوعة بوجه متماثل في كل من جهتي المستوى المذكور وهذه القوى (شكل ٨) تارة تكون بمخاديف وتارة بمجلات ذات كفات وتارة بثقالا (راجع القوى المتحركة في الجزء الثالث من هذا الكتاب) وقد تكون محصلة تلك القوى موضوعة دائماً في مستوى التماثل إذا كان الغرض تسيير السفينة سيراً مستقيماً

وقد يؤخذ من العموم الناشئ عن قوة الهواء الجاهلي تطبيق ثابت دائماً يتعلق بتحليل القوى وليكن أ ب (شكل ٩) محور السفينة التي يكون فيها مستقيم م ن دالاً على مسط الشراع المستند في نقطة و على الصاري فإذا كان و ح دالاً مقداراً واتجاهاً على قوة س التي يدفع بها الهواء الشراع نرسم متوازي الاضلاع القائم وهو و ش ح د الذي وتره و ح فإذا حللنا قوة و ح إلى قوتين فإن أحدهما وهي و ث الموجودة في جهة شراع م ن لا تحدث تأثيراً ما تسيير السفينة وثانيتهما وهي و د العمودية على الشراع هي التي دون غيرها تدفع الشراع المذكور والصاري والسفينة وإذا حللنا قوة و د إلى قوتين أخريين فإن أحدهما وهي و هـ تكاد تسيير السفينة في جهة محور التماثل وثانيتهما وهي و ف تدفعها بالجنب وتحدث التحرك المسمي بالانحراف ويجب على صانع السفن والملاح أن يمزجا تركيب سقتهما وتحركما بحيث يحدث من قوة و هـ أعظم غير ممكن ومن قوة و ف أقل انحراف ممكن

وفي متوازي الاضلاع وهو أ ب ث د (شكل ١٠) إذا كانت زاوية ب ا ث منفرجة جداً يكون وتره وهو أ د قصيراً جداً وكلما كانت زاوية ب ا ث صغيرة كان الوتر المذكور يمتد إلى النقطة التي تكون فيها

زاوية $\overline{ب\alpha\theta}$ المذكورة معدومة وحيث يكون $\overline{\alpha\theta}$ موضوعا على $\overline{\alpha\beta}$ وتكون المحصلة مساوية لمجموع المركبتين وعليه فإذا لم تكن زاوية $\overline{ب\alpha\theta}$ معدومة لانه يكون محصلة قوتى $\overline{\alpha\beta}$ و $\overline{\alpha\theta}$ مساوية بالكلية لمجموع هاتين المركبتين

ويكثر استعمال خاصية محصلة $\overline{\alpha\theta}$ وهى اختصاصها كلما زادت زاوية $\overline{ب\alpha\theta}$ ولئذ كذلك مثالا سم لا نقول

إذا فرض ان المطلوب ربط صندوق $\overline{م\theta}$ بجبل من دابة (شكل ١١) فإنه يبدأ بجعل $\overline{\theta\alpha}$ الذى هو طرف الجبل المذكور مارا من حلقة $\overline{\alpha}$ المصنوعة فى نقطة $\overline{\alpha}$ التى هى طرف $\overline{\alpha\beta}$ ثم يشد الطرف الخالص شدا قويا فى اتجاه قريب جدا من $\overline{\alpha\theta}$ فإذا كان لا يمكن تحصيل تأثير فى هذه الجهة فان هذا الطرف يوجه بالعرض الى $\overline{\alpha\delta}$ ومنى شد بقوة صغيرة حدث من ذلك زاوية $\overline{ب\theta\delta}$ اعنى ان نقطة $\overline{\alpha}$ تحير على أن تكون

فى $\overline{\theta}$ بحيث ان الوتر الصغير وهو $\overline{\theta\delta}$ من متوازى الاضلاع يكون عند رسم هذا الشكل دالا على القوة الصغيرة لليد التى توازن شدى الجبل العظيم وهما $\overline{ب\theta}$ و $\overline{\theta\delta}$ ثم يشبك طرف الجبل الخالص تحت الصندوق ثم بين $\overline{\theta\beta}$ و $\overline{\theta\delta}$ و $\overline{\delta\alpha}$ الخ وتوصل نقطة $\overline{\theta}$ الى نقطة $\overline{\alpha}$ بواسطة شد الجبل شدا تدريجيا

وكأنوا ما بقا يستعملون كثيرا السلاح المعروف بالنشاب او السهم فكانوا يرمونه بقوس $\overline{\theta\delta}$ المرن (شكل ١٢) المشدود بوتر شد وكان هذا القوس مستعملا بكثرة وقد تقدم فى الدرس الثالث من الهندسة ان كلمة قوس ووتر ونشاب نقلت من فن الصيد والقنص والحرب واستعملت فى الفاظ العلم ولئذ ذكر تأثير القوس فنقول

ان الانسان يقبض باحدى يديه على قوسه فى نقطة $\overline{\theta}$ ويمسك بالثانية الطرف الغليظ من النشاب ويتكىء على هذا الطرف فى نقطة $\overline{\theta}$ التى

هي منتصف الوتر وما يذله من الجهد في ابعاد نقطة ه عن نقطة ف يكون
 ميينا بمقدار ٢ ف غ وكذلك الجهد الحاصل على نصفي الوترين يكون ميينا
 بمقدار غ د و غ ث

فاذا افلقت اليد الموضوعة في نقطة غ طرف السهم فان نصفي وترى
 غ ث و غ د يأخذان طولهما الاصلى وذلك لانهما يؤثران في السهم

بقوة واحدة ويجبرانه على اتباع اتجاه الوتر وهو غ ف ه
 وعند الرمي تكون نسبة الشد الحاصل من كل نصف وتر الى القوة التي بها يرمى

سهم اب كنسبة طول غ ث او غ د الى ضعف غ ف
 لان غ ف هذا هو نصف وتر متوازي الاضلاع للقوى المتألف من ضلعي
 غ ث و غ د

ولكن حيث كان قوس ش ه د في العادة جسما مرنا فانه يكاد أن يكون
 قائما مع الشدة بقدر انطباق زاوية ش غ د وبذلك تزداد القوة التي
 يرمى بها السهم ايضا وهذه الطريقة يمكن لاي انسان لا يستطيع يده رمي السهم
 بعيدا عنه الا ببعض خطوات مع يسير من القوة أن يرمى هذا السهم الى ابعاد
 كبيرة بقوة كافية ويجرح به او يقتل الانسان او غيره من الحيوانات الكبيرة
 وهالك مثلا آخر بين لك شدة قوة صغيرة جدا تؤثر بكيفية ممانلة للكيفية التي
 ينشئ بها وتر القوس فنقول

اذا كان الغرض ان الهر به (اي العود الافرنجي) يكون له درجة من الشد
 يصل بها الى صوت لائق له لزم أن يستعمل لذلك مفتاح تضاعف به قوة ملاوي
 الاوتار اربع مرات او خسا فان الرجلين الشديدين اذا قبض كل منهما بيده

على طرف بعض اوتار من العود وشده حتى يبلغ الغاية لحقهما من ذلك مشقة
وتعب اذا كانت تلك الاوتار متصلة بهذه الاكلة كاتصال الجزء بأكمله
وقد حسب المهندس بروني شداوتار اليانوف (اي القانون الافرنجي) فوجد
بمجموع شدا انه يزيد على قوة اربعة افراس ومع ذلك فالقوى الصغير الذي اذا مد
ذراعيه على طول اوتار العود لا يسندهما الا بالمشقة يجدي اصابعه اللطيفة
قوة كافية لقبض على هذه الاوتار والضرب عليها من منتصفها باتمام بحيث
يحدث من ذلك نصف اوترين منزويين وهما ضلعا كثيرا لاضلاع (شكل ١٣)
الذي يدل وتره على الجهد الحادث من اصابع القوي المذكور ومتى فسخ يده
كان في هذا الجهد قدرة كافية لان تحدث للوتر تحريك الاهتزاز الذي تسمع رتبه
مدة طويلة ما لم يقطع بالدراسة او ينعدم بين انعام الاهوية والمقامات
المتوالية

ولم نذكر الى هنا الا ما يتعلق بمتوازي الاضلاع البسيط للقوى اى الذي لم يتكون
الامن مركبتين ومحصلاتهما

ولنفرض الان ان هناك ثلاث مركبات مؤثرة في نقطة مادية كمنطقة أ
(شكل ١٤) وليكن أب و أث و آد اجزاء من مستقيم واحد
دالة طولها واتجاهها على المركبات الثلاثة المذكورة فاذا رسمنا متوازي الاضلاع
وهو أب هـ باعتبار مستقيمي أب و أث كضلعين له كان وتره
وهو أهـ دالا على مقدار محصلة القوتين الاوليين واتجاههما بمعنى ان
الجسم الواقع عليه تأثير قوتي أب و أث معا وقوة أهـ وحدها
يقطع مسافة واحدة في اتجاه واحد وزمن واحد

ولتركب محصلة أهـ الجزئية مع القوة الثالثة وهي آد فيحدث من
المستقيمين الدالين عليهما متوازي الاضلاع وهو أهـ فـ ويكون أفـ
الذي هو وتر هذا الشكل الجديد دالا بالضرورة على محصلة آد و أهـ
الا ان التأثير الحادث من أهـ يكون مكافئا للتأثير الحادث من قوتي أب

و اث فاذن يكون التأثير الحادث من قوة اف مكافئاً للتأثير الكلي
الحادث من قوى اب و اث و اد الثلاثة
ويمكن الوصول الى هذا المحاصل بكيفية اخرى وهى انه متى كانت قوتان
كقوتى اب و اث (شكل ١٥) مؤثرتين في جسم بحسب ا
فان اثرت فيه القوة الاولى وهى اب وحدها في زمن معلوم فانها تنقله
من ا الى ب وان اثرت بعدها القوة الثانية وهى اث وحدها
فانها تنقله ايضا من ب الى هـ بالتوازي لقوة اث بحيث يكون
به = اث ثم ان اثرت فيه قوة ثالثة كقوة اد وحدها فانها تنقله
من هـ الى ف بالتوازي لقوة اد بحيث يكون هـف = اد

وبالجملة فالجسم المذكور الواصل الى ف بالتأثير المتوالى الحادث
من القوى الثلاثة يكون موجودا مع الضبط في النقطة التى كان يصل اليها
لو كانت هذما قوتى الثلاثة كلها مؤثرة فيه في زمن واحد لاجل نقله
وهذه الكيفية لا تغاير الكيفية السابقة الا بكونها دون المقدمة في الصعوبة
وذلك لانه يتقص فيها الضلع الثالث والرابع من متوازي اضلاع شكل ١٤

فاذا كان هنالك عددا من القوى كقوى وا و وب و وث الخ
(شكل ١٦) المؤثرة في نقطة مادية فان هذه النقطة تنقل في زمن معلوم
الى مسافة ابعد من المسافة التى نقل اليها الجسم في صورته اذا اثرت فيه
القوى كل واحدة على حدها مع التوالى لاجل نقله الى اتجاهها الاصلى
في الزمن المذكور وحيث نمتد بالتوالى مستقيمت ار و رث و ثد الخ
موازية ومساوية في الطول لمستقيمت وب و وث و ود الخ
ثم نصل نقطة و الاولى بنقطة هـ الاخيرة من هذه الاضلاع التسلسلية
فيكون مستقيم وهـ دالا على محصلة جميع المركبات الميئة بمستقيمت
وا و وب و وث و ود الخ

فاذا غلقنا حيث نمتد بمستقيم وهـ كثيرا لاضلاع وهو وا ر ث د ... هـ و

كان هذا المستقيم دالا على المحصلة الكلية متى كان كل من الاضلاع دالا على
قوة مركبة

فاذا عكست محصلة $\overline{وه}$ الى $\overline{وه}$ فان هذه القوة المحصلة المضادة
للمركبات بدون واسطة تكون موازنة لتلك المركبات ومن هنا الدعوى النظرية
اللطيفة المنسوبة الى المهندس $\overline{ايننتر}$ وهي اذا كان هناك قوى بقدر ما يراد
واقعة على نقطة مادية وكانت هذه القوى مينة مقدارا واتجاها في سمت
ستتابع باضلاع شكل كثير الاضلاع منتظما كان او غير منتظم غير أنه يكون
تاما ومغلوفا فان هذه القوى كلها تكون متوازنة بالضرورة

ويوجد في كثير الاضلاع وهو $\overline{من ح خ ر ض}$ (شكل ١٧) زاوية

داخله كزاوية $\overline{خ}$ وهذه الزاوية لا بد منها في عمل كثير الاضلاع لان اتجاه

سهم $\overline{خ ر}$ يدل على الجهة التي ينبغي أن يرسم فيها ضلع $\overline{خ ر}$ لتكون
القوى المتوازنة متعاقبة كلها في جهة واحدة وبالمجمل فكل ضلع من كثير
الاضلاع يدل على مقدار القوى واتجاهها

وقائدا لكيفية التي اعتبر فيها تركيب القوى هي انها تستعمل ايضا في القوى
المؤثرة في مستو واحد او عدة مستويات مختلفة وذلك مهم جدا في كثير
من الحالات

وينتج من ذلك انه اذا لم تكن قوى $\overline{وا}$ و $\overline{وب}$ و $\overline{وث}$ و $\overline{ود}$ الخ
(شكل ١٦) كلها في مستو واحد لا تكون اضلاع $\overline{كك}$ كثير الاضلاع

وهو $\overline{وا ر ش الخ}$ الموازية لاتجاهات تلك القوى كل لنظيره في مستو
واحد غير أنه في هذه الصورة تكون محصلة جميع القوى وهي $\overline{وه}$ مينة
مقدارا واتجاهها بمستقيم $\overline{وه}$ الممتد من نقطة $\overline{و}$ التي هي مبدء كثير
الاضلاع وهو $\overline{وا ر ش الخ}$ الى نقطة $\overline{ه}$ التي ينتهي فيها آخر الاضلاع
الدالة على القوى المركبة

وكما سهل عمل كثير الاضلاع وهو $\overline{وا س د}$ الخ على الورق او على الارض اذا كان هذا الشكل بتمامه في مستو واحد كان عمله صعبا ومتعبا اذا لم تكن اضلاعه التي يتركب منها في مستو واحد

هذا وقد ظهر لنا عما سبق في الدرس الثالث والسابع والثالث عشر من الهندسة في الجزء الاول من التعريفات والقضايا طريقة مختصرة مضبوطة في تحصيل اتجاها المحصلة ومقدارها مهما كان عدد القوى المركبة واتجاهها ومقدارها

وحاصلها انه لاجل تحصيل مسقط مستقيم $\overline{م ن}$ (شكل ١٨)

الموضوع على مستوي بالنسبة الى محوري $\overline{و س}$ و $\overline{و ص}$ يكفي أن نزل من نهايتي هذا المستقيم بعمودين على محوري المسقط المذكور فيكون جزأ

$\overline{م د}$ و $\overline{م ف}$ المصوران بين هذين العمودين هما المسقطان المطلوبان

فاذا مددنا $\overline{م م}$ الى $\overline{ا}$ و $\overline{م م}$ الى $\overline{ب}$ فانه يحدث متوازي

الاضلاع وهو $\overline{م ا ب}$ الذي يمكن اعتبار $\overline{م ن}$ فيه كقوة محصلة

مركبتها مبيتان بمستقيمي $\overline{م ب} = \overline{م د}$ و $\overline{م ا} = \overline{م ف}$ حيث

ان هذين المستقيمين الاخيرين متوازيان ومحصوران بين متوازيين آخرين

كما تقدم في الدرس الثاني من الهندسة

وماذا كرناه في شان القوة الواحدة يمكن اجراؤه في قوتين او ثلاثة او اربعة

او اكثر من ذلك ومهما كان مقدار القوى واتجاهها فان كل واحدة منها

تكون مبيتة بمسقطها على محورين متقاطعين

فاذا كان هنالك عددا من القوى مثل $\overline{م ن}$ و $\overline{ن ح}$ الخ (شكل ١٨)

فانه يكفي أن نأخذ مساقطها على محوري $\overline{و س}$ و $\overline{و ص}$ المتقاطعين

ثم نعتبر أن الجسم يتحرك من جهة على $\overline{و س}$ بقوى $\overline{م د}$ و $\overline{ف ح}$

و $\overline{ح خ}$ الخ ومن جهة اخرى على $\overline{و ص}$ بقوى $\overline{م ف}$ و $\overline{د ح}$ و $\overline{ح خ}$ الخ

فيكون التأثير الناشئ عن ذلك واحدا دائما لانه حيثئذ يكون مستقيما

مخ الغالق لكثير الاضلاع وهو من ح خ دالا على محصلة قوى

من و ل ح و ح خ ويكون مسقطاهما م غ و م غ
هما مجموع المساط الجزئية او فاضلهما فاذا كانت قوى م د و د ح و ح غ الخ
و م د و د ح و ح خ مؤثرة على مستقيم واحد فان محصلتها
تكون أولا متجهة على هذا المستقيم وثانيا تكون مساوية لمجموع
سائر القوى المتجهة الى جهة ناقصا مجموع القوى المتجهة الى اخرى تقابلها
ولاشئ اسهل في العمل من هذا البيان

ولنفرض (شكل ١٧) جملة من القوى مينة بمستقيمات من

و ل ح و ح خ الخ فاذا اسقطنا هذه المستقيمات على محور وس
في م د و د ح و ح خ الخ فان قوى م غ و ر حه يكون
دفعهما الى جهة مضادة لجهة م د و د ح و ح خ الخ وعلى ذلك
تكون المحصلة مساوية $م د + د ح + ح خ - ر ح - غ م + ر ح$
ومن البديهي ان $م د + د ح - ح خ$ هو م غ وان ر ح
- ر حه هو غ م فاذن تكون المحصلة الكلية مساوية م غ + غ م

اعني م حه وهذا الجزء المحوري هو مسقط م ح الذي يغلق كثير
الاضلاع للقوى وبناء على ذلك يكون هو الدال على محصلة من

و ل ح و ح خ الخ

فاذا كانت جميع قوى من و ل ح و ح خ الخ (شكل ١٨)
في مستوى محوري وس و وص فان التحركات الحادثة من نقطة
م على محوري المسقط تكون دالة دلالة تامة على التحركات الحادثة
من م بواسطة قوى مركبة ايا كانت كقوى من و ل ح

و ح خ الخ

ولكن اذا لم تكن القوى المذكورة في مستوى المحورين لزم اخذ ثلاثة محاور عمودية على بعضها بأن نأخذ مثلا مستويا رأسيا ومستويين اقيين احدهما متجه من الشمال الى الجنوب والاخر من المشرق الى المغرب وعلى ذلك اذا اترزنا على المحاور باعمدة من نهايتي كل مستقيم دال على قوة كانت المساقط دالة على ثلاث قوى بحيث يؤول الامر الى ان النقطة للمادية المتحركة بالتوالي على اتجاه كل من القوى المذكورة تصل الى الوضع الذي كانت تصل اليه لو كانت متحركة بقوة واحدة اصلية

وكذلك يتضح بواسطة متوازي الاضلاع تحليل قوتين وتركيبهما على مستوى ويتضح ايضا بواسطة متوازي السطوح تحليل وتركيب ثلاث قوى في الفراغ كما تقدم في الدرس السابع من الهندسة الذي تكلمنا فيه على متوازيات السطوح

وحيث اذا مبدنا وتر $\overline{أغ}$ (شكل ١٩) من زاوية $\overline{أ}$ الى زاوية $\overline{غ}$ المقابلة لها فمن البديهي انه اذا اخذنا الوتر المذكور مع اضلاع $\overline{أب}$ و $\overline{أث}$

$= \overline{ب ه}$ و $\overline{أ د} = \overline{ه غ}$ الثلاثة فحصل من ذلك كثير اضلاع $\overline{أ ب ه غ أ}$ مغاوط من سائر جهاته فاذن يمكن أن نعتبر ان $\overline{أ غ}$ الذي هو

ضلع كثير الاضلاع المذكور يكون دالا مقدارا واتجاهها على قوة $\overline{أ غ}$ المتوازنة مع القوى الثلاثة الميينة على وجه التناظر مقدارا واتجاهها بمستقيمتين $\overline{أ ب}$ و $\overline{أ ث}$ و $\overline{أ د}$

فعلى ذلك اذا كانت قوة $\overline{أ غ}$ مثلا تكفي في ثقل نقطة $\overline{أ}$ الى نقطة $\overline{غ}$ في زمن معلوم فان قوة $\overline{أ ب}$ تثقل في زمن مساو لهذا الزمن النقطة المذكورة من $\overline{أ}$ الى $\overline{ب}$ ثم تثقل كذلك قوة $\overline{أ ث}$ في زمن مساو له نقطة $\overline{أ}$ من $\overline{ب}$ الى $\overline{ث}$ وكذلك قوة $\overline{أ د}$ تثقل في زمن مساو له ايضا

قطعة $\bar{ا}$ من $\bar{ه}$ الى $\bar{غ}$

فاذن اذا كانت القوى الثلاثة الميئة بمستقييات $\bar{ا ب}$ و $\bar{ا ث}$ و $\bar{ا د}$
مؤثرة معا فانها تنقل $\bar{ا}$ الى $\bar{غ}$ في عين الزمن الذي تكون فيه كل من
هذه القوى مؤثرة على حدها بالتوالي او الذي تكون فيه محصلة $\bar{ا غ}$
مؤثرة دون غيرها

والثبته هنا على انه اذا اطلق اسم محاور المسقط على مستقييات $\bar{ا ب}$ و $\bar{ا ث}$
و $\bar{ا د}$ فان اجزاء $\bar{ا ب}$ و $\bar{ا ث}$ و $\bar{ا د}$ تكون باضبط على هذه

المحاور مساقط لوز $\bar{ا غ}$ الذي هو محصلة تلك القوى الثلاثة

ثم ان هذه الطريقة التي سلكتها وان كانت مطولة الا انه لا بد منها
حتى يعرف ان الخواص التي يستصعبها المبتدى ويهاجمها انما هي من قبيل
المبادئ

واذا حللنا كلا من القوى التي يمكن وقوعها على جسم واحد الى قوتين
موازيتين لمحورين معلومين او الى ثلاث قوى موازية لثلاثة محاور معلومة فانه
يتحصل من ذلك كثير من القوى الموازية لكل محور بقدر ما يوجد من القوى
المختلفة الواقعة على الجسم مهما كان مقدارها واتجاهها وبذلك يؤول تأثير
القوى التي لا مشابهة بينها من حيث اتجاهاتها الى تأثير القوى المتوازية
بلا واسطة

فاذا كان لسائر القوى المتحصلة من التحليل المذكور محصلة واحدة مارة بمركز
ثقل الجسم فانها تكاد تسير الجسم المذكور الى الامام على خط مستقيم بدون
دوران كالموازنة الى قوة واحدة مساوية لمجموعها وموازية لاتجاهها
المشترك ينته

واذا كان لسائر القوى المذكورة محصلة غير مارة بمركز الثقل المتقدم فان هذه
المحصلة تؤثر في الجسم تأثيرا يديره ويلزم الاعتناء بالبحث عن كيفية حصول

هذا المحرك لانه فرض أن قوة \overline{AS} لا تكون مارة بمركز الثقل وهو \overline{G} (شكل ٢٠) فمن حيث أن \overline{G} عمود ممتد من نقطة \overline{G} الى \overline{AS} الذي هو اتجاه تلك القوة فان محرك الجسم لا يتغير متى اضيف اليه قوة واحدة كقوة \overline{G} مساوية ومساوية لقوة \overline{AS} وقوتان كقوتى $\overline{اص}$ و $\overline{اص}$ الموازيين لقوة \overline{G} المتجهتان بالتضاد والمساوية كل واحدة منهما لنصف \overline{G} والموضوعتان على وجه بحيث تكون $\overline{G} = \overline{ا} + \overline{ا}$ لان قوة \overline{G} متوازنة مع $\overline{اص}$ و $\overline{اص}$ غير أن قوة $\overline{اص}$ لما كانت نصف قوة \overline{AS} وكانت متجهة الى جهة مضادة لها اعدمت نصف \overline{AS} وبناء على ذلك يكون الجسم مقهر كابلث قوى احدها قوة \overline{G} المارة بمركز ثقل الجسم والمساوية لقوة \overline{AS} والثانية نصف \overline{AS} المؤثرة في جهة \overline{AS} والثالثة $\overline{اص}$ المساوية لنصف \overline{AS} والمتجهة الى جهة مضادة لها

وحيث كانت القوتان المساويتان لنصف قوتى \overline{AS} و $\overline{اص}$ بعيدتين بالسوية عن مركز الثقل وهو \overline{G} كانتا مؤثرتين تأثيرا بعيدا ومركز الثقل المذكور بدون أن يسير الى جهة اكثر من اخرى حيث لا مقتضى لكون احدى القوتين المذكورتين المتساويتين المتجهتين بالتوازي الى جهتين متقابلتين تجذب المركز المذكور الى جهتها زيادة عن القوة الاخرى فعلى ذلك أولا لا ية تقدم مركز الثقل ولا يتأخر بواسطة تأثير نصف قوتى \overline{AS} و $\overline{اص}$ وثانيا يكون هذا المركز منقولا بتأثير قوة \overline{G} على خط مستقيم بالنسبة الى تأثير قوة مساوية لقوة \overline{AS} وموازية لها وبناء على ذلك اذا كان هناك عدة قوى مؤثرة في جسم له صورة منا وحلنا اولاً

جميع تلك القوى بالتوازي الى محاور معلومة ثم عيننا ثانيا المحصلة الكلية للقوى المذكورة لاجل نقلها بالتوازي الى مركز الثقل فان هذا المركز يتحرك تحركا مستقيما كالمكانت تلك القوى واقعة كلها على مركز الثقل المذكور بدون واسطة وهذه هي القضية الشهيرة المتعلقة بحفظ مركز الثقل وتسميته بذلك مما لا بد منه لاسيما في هذه الخاصية وهي أن التحرك كان الداخلي الحادثة في الجسم من تأثير اجزائه بعضها في بعض او من مقاومتها لبعضها لا تغير شيئا من تحرك مركز الثقل بالنسبة لنقط الفراغ الخارجية

ثم ان لعب البليارد (وهي لعبة كبيرة يلعب عليها بالكر صغيرة من العاج اوسن الفيل) يؤخذ منه عدة امثلة متنوعة واضحة جدا وخواس التحرك الحادث للاجسام من تأثير قوة غير مارة بمركز ثقلها فاذا دفع البيل (وهي كرة صغيرة من العاج اوسن الفيل) على غير اتجاه مركزه بل على يمينه مثلا فانه يسير أولا الى الامام بالسرعة التي كان يسير بها لو دفع على اتجاه مركزه وثانيا يكون له تحرك مستدير من اليمين الى الشمال وذلك مع السير الى الامام فاذا دفع من فوق مركز الثقل فانه يسير الى الامام ايضا مع السرعة التي كان يسير بها لو دفع على اتجاه مركزه ويكون له تحرك دوران من فوق الى تحت وذلك ايضا مع سيره الى الامام

وقد يكون التأثير بخلاف ذلك اذا وقع البيل على شمال مركز الثقل او تحته فاذا دفع من تحت مركز الثقل فان المعاداة الحادثة من احتكاك سطح البليارد بالبيل تكون متزايدة واذا دفع من تحت المركز وكان ذيل قضيب الدفع مرفوعا فانه يسير مع البطي كالمكانت ذلك مؤثرا بالتوازي للبليارد وحينئذ يمكن ان سرعة الدوران تنقل الى الغاية التي لا تنعدم فيها السرعة المذكورة تمامها بسبب الاحتكاك المذكور عند انعدام سرعة البيل المتواليه وزوالها بالكلية وحيث كانت مقاومة سطح البليارد مستمرة دائما كالقوة المعطلة كان بعض هذه المقاومة منقصة لسرعة دوران البيل والبعض الآخر مؤثرا كالمكانت منقولا الى مركز البيل المتأخر بذلك البعض وهذا هو السبب في انه يمكن من اول دفعة

من ذيل قضيب البليار تقديم البيل ثم تأخير
وهناك تأثيرات مشابهة لتأثيرات لعب البليار توجد في تحريك كل المدافع
والقناير ويحصل منها فوائد عظيمة جدًا معرفتها من أهم الأشياء في فن الحرب
وهي الغرض الأصلي من فن الطوبجية

(الدرس السادس)

في بيان الآلات البسيطة وهي أخبال والقناطر المعلقة وعدد خيول العربات
وادوات السفن ولوازمها وما أشبه ذلك

يطلق اسم الآلات على الأجزاء المادية المجمعة المستعملة لنقل أي قوة من
القوى بأن يغير اتجاهها أو سرعتها أو المسافة الأفقية التي يقطعها الجسم
في زمن معلوم

والآلات البسيطة سبع ومنها تألف جميع الآلات المركبة وهذه الآلات
البسيطة هي الحبال والرافعة والبكر والملفاف (أي المنجنيق) والمستوى المائل
والبريمة والخابور وسنن كلاً منها تفصيلاً على حسب ما تقتضيه أهمية
موضوعه ولنشرع في ذكرها على هذا الترتيب فنقول

(بيان الحبال)

قد فرض المهندسون أولاً لاجل سهولة معرفة خاصية الحبال المستعملة
لنقل القوى أنها لينة وغير قابلة للامتداد ومجردة عن التناقل ثم نظروا لما يلزم
اعتباره فيها من شدتها كثيراً أو قليلاً ومدتها وتناقلها فبحثوا (بالنظر
والتجربة) عن التغيرات التي يمكن عر وضها للحواصل الأصلية بخواص
المادة التي تتركب منها الحبال المذكورة

ثم إن تحويل المسائل الصعبة إلى أصولها السهلة ليس الأكيفية عقلية بها
يتقوى الفهم السقيم وتسهل وسائط العمل فلذا آثرناها في البحث عن خواص
الحبال وما تتر الآلات البسيطة

فلنفرض إذن حبلاً على غاية من اللين غير قابل للامتداد ومجرداً عن التناقل
ثم نبده بإيقاع قوة واحدة على كل من طرفي هذا الحبل ونفرض أن هاتين

القوتين الشاذتين للجبيل في جهتين متقابلتين متساويتان فيتايرهما يكون
الجبيل مشدودا شذا مستقيما و طرفاه على اعظم بعد ممكن فعلى ذلك تكون القوتان
المذكورتان متوازيتين اذ لا داعي لكون الجبيل المشدود من طرفيه يتقدم
الى جهة اكثر من اخرى

فاذا ان هنالك قوة ثالثة شاذة للجبيل في جهة احدى القوتين الاوليين
فان هاتين القوتين بعد ما ن بعضهما ويكون تحرك الجبيل من جهة القوة الثالثة
فقط كالمكانت القوتان الاوليان لم يوجد اصلوا هذا التحرك الحادث على اتجاها
الجبيل لا يمنعه من أن يكون على خط مستقيم فاذن لا يكون الجبيل مشدودا
الا بالقوة الثالثة واما القوتان الاوليان المتوازيتان فلا يتحصل منهما الا هذا
التوازن الناشئ عن شد كل منهما للجبيل

وتتجس ذلك تكون واحدة مهما كان طول الجبيل ويؤخذ من ذلك ان الشد
الحادث يكون ايضا واحدا في كل من قطب الجبيل التي هي **ث** و **آ** الخ
وبالجملة فلاجل معرفة شد الجبيل من نقطة منه كنقطة **ث** (شكل ١)
تقرض ايقاع قوتي **آس** و **بص** على تلك النقطة وكذلك لاجل
معرفة شدة من نقطة **آ** تقرض ايقاع قوتي **آس** و **اص** عليها
ولا يتغير تأثير هاتين القوتين مهما كانت نقطة وقوعهما

وننتج من ذلك ان شد الجبيل من نقطة **ث** مثلا يكون (كما تقدم قريبا)
واحدا كما في طرف **آ** فاذن يكون الشد واحدا في جميع اجزاء الجبيل
ولنفرض الان انه يكون للجبيل في جميع طوله قوة ثابتة ماعدا نقطة واحدة
تكون اضعف من غيرها فبازياد القوتين المتضادتين تدريجا بكمية واحدة
يتوصل الى حد يكون فيه الشد (المفروض انه واحد في اعداد النقطة المذكورة)
قليل لاجل تقص الجبيل في النقطة الضعيفة المذكورة دون غيرها من النقط
الاخرى فاذن يحصل تقص الجبيل في هذه النقطة ويكون التوازن معدوما

وهذه الكيفية هي التي تستعمل في القنون مع الضبط لقياس قوة الحبال فاذا اريد
استعمال الحبال في تثبيت الاشياء التي ينبغي المحافظة على امساكها وفي تعليقه

فلا بد من تحقق أن هذه الحبال تجعل ما يعرض لها من المجهودات العظيمة بدون قص ولا انقطاع وعلى ذلك فيلزم أن نعرف من مبدء الامر المقاومة التي تقبلها تلك الحبال والقطن المتخذة من الحديد المستعملة الآن عند البحارة القروساوية لانه اذا نظرت في كل كلبه من السلسلة الى رداع الحديد المتخذة منه اورداة صناعته يكفي ادنى قوة في جعل القنة عرضة للكسر كما اذا كانت الكلبات كلها على هذا النسق

واذا كان الحبل قصيرا قلت الموانع التي تمنعه عن أن يكون في بعض نقطه اضعف منه في البعض الآخر واذا اخذنا طرفي حبل غير متساويين في الطول وشدناهما شدا متساويا فان الطرف القصير منهما يكون قابلا لتعمل جهده عظيم من غير انقطاع اكثر من الطرف الطويل ولنفرض ان كلا من الطرفين يقع عليه قوى متعدده بقدر لا عن القوة الواحدة

فلتكن A و B و C و D و E هي القوى المؤثرة في الحبل من احد طرفيه و B' و C' و D' و E' هي القوى المؤثرة فيه من الطرف الاخر فيمكن ابدال قوى A و B و C و D و E الخ بقوة واحدة تكون محصلة لها وكذلك تبدل قوى B' و C' و D' و E' الخ بقوة واحدة تكون ايضا محصلة لها ثم نعين تلك القوة بموجب القوانين الاعتيادية المتعلقة بتركيب القوى فترسم كثيرا اضلاع تكون اضلاعه مساوية وموازية للمستقيمات الدالة على جملة القوى الاولى وكثيرا اضلاع آخر تكون اضلاعه مساوية وموازية للمستقيمات الدالة على جملة القوى الثانية ويكون مستقيما AS و BS الغالتان لكثيري الاضلاع المذكورين دالين على المحصلتين ويلزم لاجل التوازن ان تكون المحصلتان متجهتين الى جهتين متضادتين على اتجاه حبل AB وأن يكونا متساويتين

فإذا لم تكن القوتان متساويتين حصل التحرك في جهة كبراهما وتكون السرعة على نسبة منعكسة لجسم الجبل المعدل للحرك وهكذا (كما تقدم في الدرس الثاني)

*(تطبيق ما تقدم على ضرب النواويس) *

النواويس التي تضرب في الكائن مشدودة بجبل أ ب الرأس (شكل ٣) فإذا كان الناقوس ضمنا بحيث لا يمكن لشخصين أو ثلاثة ضربهم مع السهولة بشدهم جميعا للجبل المذكور فإنه يربط في الطرف الأسفل

من جبل أ ب الأصلي جبال صغيرة كجبال أ ر و أ س و أ هـ الخ ويقبض كل منهم على هذه الجبال ويشدونها كي يحدث للناقوس التحرك الموافق له ولاجل تحصيل المحصلة يكفي عمل كثير الاضلاع وهو

أ ر س س أ الخ الذي تدل اضلاعه وهي أ ر و أ س و س س الخ مقداراً واتجاهاً على قوى أ ر و أ س و أ هـ الخ

وبمستقيم أ س من نقطة أ ونهاية الضلع الأخير يغلظ كثير الاضلاع للقوى الذي يكون فيه هذا المستقيم دالاً على المحصلة وبالجملة فيلزم في الصورة التي نحن بصدد هاء أن تكون هذه المحصلة في اتجاه جبل أ ب الرأس ويقف عادة ضاربو الناقوس المتقاربون في القوة على شكل دائرة ويكونون على بعد واحد من بعضهم بحيث يكون مركز هذه الدائرة في الوضع الرأسى لجبل أ ب وبهذا الوجه تتر محصلة قواهم ضرورة بمستقيم أ ب

*(بيان الكبش (أي السامردان) وهو آلة المعدة للاق الخواير) *

مأذ كراهه في صورة ضرب النواويس يجري ايضاً فيما إذا اريد أن يشتد بجبال صغيرة الخلل الأصلي الذي يحرك الكبش المستعمل لاق الخواير وقد غلب على هذه الآلة اسم آلة الضرب لأنها تضرب كناقوس الكنيسة الضخم ولاجل الوقوف على حقيقة هذه الآلة يلزم معرفة خواص البكرات

ولم تتكلم الى هنا الاعلى الجبال المشدودة من اطرافها تقط ولنفرض زيادة على ذلك انها تكون مشدودة من نقطة متوسطة فنقول

ليكن \overline{AS} و \overline{BS} (شكل ٤) هما القوتان الواقعتان

على \overline{AB} اللذين هما طرفا جمل \overline{AB} و \overline{SZ} هي القوة الواقعة على نقطة \overline{S} المتوسطة فتكون هذه القوى الثلاثة متوازنة

عند نقل \overline{BS} الى \overline{SZ} و \overline{AS} الى \overline{SZ} فيكون

\overline{SZ} الذي هو وتر متوازي الاضلاع الحادث على ضلعي \overline{SZ}

و \overline{SZ} مساويا ومقابلا لقوة \overline{SZ} على وجه الصحة والضبط

ولنفرض أن قوة \overline{AS} (شكل ٥) الميمنة بمستقيم \overline{SZ}

وقوة \overline{BS} الميمنة ايضا بمستقيم \overline{SZ} يكونان متساويتين

فان يكون متوازي الاضلاع وهو \overline{SZ} شكلا معيننا ونكون

زاويتا \overline{SZ} و \overline{SZ} متساويتين بمعنى أن مستقيمي

\overline{AS} و \overline{BS} يحدث عنهما مع اجمعه محصلة \overline{SZ}

زاوية واحدة

ولكن تكون قوة \overline{SZ} قريبة او بعيدة عن \overline{BS} اكبر من

\overline{AS} على حسب كبر \overline{SZ} او صغره عن \overline{SZ} وذلك متعلق

بصورة مثلثي \overline{SZ} و \overline{SZ} المتساوين

فاذا كان هناك اربع قوى كقوى \overline{AS} و \overline{BS} و \overline{AS}

و \overline{BS} (شكل ٦) واقعة على قطبي \overline{SZ} و \overline{SZ} يلزم

أن يكون التوازن حاصل حول كل من النقطتين المذكورتين وهما جريا

فاذا كان حول نقطة \overline{S} متلاقوتا \overline{AS} و \overline{BS} اللتان يلزم

أن تكون حاصلتهما متجهة على امتداد ث ث ودالة على الشد الكلى
 الحادث من هاتين المركبتين على حبل ث ث الصغير فبرسم متوازي
 الاضلاع وهو ث ص ز ث الذي فيه ث ص = ا س و ث ص
 = ب ص يحدث أن ش ز يساوى شد حبل ب ث
 وكذلك نقطة ث فانه اذا رسم متوازي اضلاع ث ص ز
 الذي فيه ضلع ث ص = ا س و ث ص = ب ص
 يحدث أن ش ز يساوى شد الحبل ولاجل توازن ث ث يلزم
 أن يكون شدا ش ز و ش ز المتضادان متساويين

ولنتبه هنا على ان تعيين شدود ا ث و ث ث و ث ا الخ المتنوعة
 لاعلاقة له بطول اجزاء ا ب و ب ث و ث ا الخ وانه عند
 زيادة هذا الطول او نقصه تتغير حالة الشدود ما عدا توازنها فاذن يمكن
 أن يفرض انعدام واحد منها او اكثر بدون أن ينعدم ذلك التوازن وبناء
 على ذلك اذا كان هنالك عدة قوى واقعة على نقط متنوعة من حبل واحد
 فبايقا عليها كلها على نقطة واحدة منه بدون تغيير مقدارها واتجاهها
 مع ثقلها بالواري لنفسها وتخليصها من الحبل المذكور تكون متوازنة
 فاذا كان هنالك حبل مشدود بقوى واقعة على نقط مختلفة حدث عنه شكل
 كثير الاضلاع ولهذا يسمى كثير الاضلاع الحبالى ويلزم أن تكون القوى
 المؤثرة حول كل نقطة متوازنة مع الشدود الحادثة من اضلاع كثير الاضلاع
 الذى تكون هذه النقطة رأساه

وثم امله عديدة تتعلق بتوازن كثير الاضلاع الحبالى وذلك اذا علقنا اقبالا
 فى حبل لا يكرن طرفاه على رأسى واحد وسيظهر لك من القناطر المعتادة التى
 ستكلم عليها فى آخر هذا الدرس مثال اخر فى شأن الاشكال الكثير الاضلاع

الحبالية وفي شأن قاعدة تقويماتها

ولتكن $\overline{اصه}$ و $\overline{بزر}$ و $\overline{شان}$ و $\overline{دون}$ (شكل ٧) قوى
 رأسية فتكون محصلتها هي $\overline{رر}$ رأسية ايضا مساوية لمجموعها
 ولما منع أن تكون هذه المحصلة معينة بدون واسطة بالدعوى النظرية المتعلقة
 بالقوى المتوازية ولاجل حصول التوازن في كثير الاضلاع الحبالية يلزم
 أن قوة $\overline{رر}$ الدالة على مجموع قوى $\overline{اصه}$ و $\overline{بزر}$ و $\overline{شان}$ و $\overline{دون}$
 توازن شد طرفي الحبل اللذين هما $\overline{ا}$ و $\overline{د}$ وذلك يقتضي أولا أن
 اتجاهي قوتي $\overline{اصه}$ و $\overline{دع}$ المتطرفين يتقاطعان في نقطة $\overline{و}$ على $\overline{رر}$

التي هي محصلة القوى المتوازية وثانيا انه اذا اخذنا $\overline{ومر} = \overline{اصه}$
 و $\overline{وع} = \overline{دع}$ على مستقيمي $\overline{واصر}$ و $\overline{ودع}$ فان وتر متوازي
 الاضلاع الحادث على هذين الضلعين يكون مساويا $\overline{رر}$ مساواة صحيحة
 ويكون رأسيا كسائر القوى المركبة

واما الشدود الحاصلة من اجزاء حبل $\overline{ابشد}$ المتنوعة فانه يسهل
 دائما تعيينها باعتبار أن كل قوة موازية مثل $\overline{اصه}$ و $\overline{بزر}$ الخ كوتر
 متوازي الاضلاع الذي ضلعاه $\overline{امتد}$ و $\overline{اصه}$ و $\overline{اب}$ او $\overline{اب}$
 و $\overline{بث}$ او $\overline{بث}$ و $\overline{شد}$ الخ فتكون اضلاع هذا الشكل
 دالة على شدود الحبال الصغيرة وبهذا الوجه يعين شد طرفي كل حبل صغير
 كحبال $\overline{اب}$ و $\overline{بث}$ و $\overline{شد}$ فاذا كان التوازن باقيا على حاله
 لزم ان يكون هذا الشد باقيا على حاله ايضا في طرفي كل حبل صغير لان الحبل
 بدون ذلك يتقدم الى جهة الشد الاكبر كما لو اثر فيه مباشرة قوتان

غير متساويتين

ولتسكلم هنا على تناقل الحبال مبتدين بالحبل المثبت من طرفيه والمحلى وقسه
 معلقا فنقول

يمكن أن نعتبر ان هذا الحبل مركب من عدد غير محدود من المستقيبات الصغيرة

المتساوية المائلة قليلا على بعض ما بحيث يحدث عنها المنحنى الذي يبعه الجبل
الذكور ليكون بذلك متوازنا وساكا فإذا اعتبرنا جبلين اى ضلعين من هذه
الاضلاع الصغيرة المتوالية كضلعى $\overline{اب}$ و $\overline{بث}$ (شكل ٨) كانت
محصلة ثقل كل منهما قوة مارة بمنتصفهما وهما $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ فيحدث
حيثتذ عدة قوى $\overline{م م م}$ و $\overline{ن ن ن}$ و $\overline{وز}$ متوازية
ومتساوية وموضوعة على وجه بحيث تكون تقاطعها وهى $\overline{م}$ و $\overline{ن}$
و $\overline{و}$ على بعد واحد من بعضها

وتكون محصلة تلك القوى مساوية لمجموعها ومتجهة اتجاهاها رأسيا
ولكن $\overline{ر ر}$ رمزا الى هذه المحصلة فيأزم بحسب ما تقدم ان $\overline{ف}$
و $\overline{غ غ}$ اللذين هما الضلعان الاخيران من كثير الاضلاع الجبالى يتقاطعان
بواسطة امتدادهما على محصلة $\overline{ر ر}$ المذكورة

وبناء على ذلك يتقاطع $\overline{ف ف}$ و $\overline{اب}$ و $\overline{غ غ}$ فى قطعى $\overline{ف}$
و $\overline{غ}$ دائما على اتجاه محصلة ثقل الجبل المحلى وقسمة مطلقا وهى محصلة
مارة بمركز ثقل الجبل المذكور

(ونستعمل هذه الخاصية عند علماء الرياضة فى تحصيل معادلة تفاضلية
تتعلق بالمنحنى الحادث من الجبل المحلى وقسمة لتناقله الا انه ليس فى القواعد
المستعملة ما يكتفى فى تحصيل الكميات المجهولة الموجودة فى المعادلة التى يعين
بها صورة ذلك المنحنى بكيفية صحيحة واما ارباب الفنون فيمكنهم أن يحسبوا
هذا المنحنى ويعينوا جميع اجزائه بواسطة الاقيسة المتكررة ويصلوا بالعمل
على وجه سهل الى تحصيل الخواصل التى لا يمكن أن يتوصل اليها
بعلم التحليلات)

وقد يكون المنحنى الحادث من الجبل المنثنى بواسطة تناقله بأقيا على حالة

واحدة سواء كان هذا المنحنى جبلا لينا متواصلا او كان سلسلة كبيرة كانت
او صغيرة مركبة من كلابات صغيرة فيحدث من هذه السلسلة شكل كثير
الاضلاع مؤلف من عدد غير محدود من الاضلاع الصغيرة جدا وذلك هو
شرح هذه المسئلة وقد اطلق اسم السلسلة على المنحنى الذي تتبعه تلك السلسلة
او جبل على غاية من اللين مثبت من طرفيه ومخل وضمه لتأثير التناقل
ويكثر استعمال هذه السلسلة في قنون الميكانيكا وغيرها من القنون
المستظرفة

وتكون القنون والسلاسل المشار اليها برمز \overline{AB} (شكل ١٤)
التي بها تتوازن السفن مع قوى الهواء والتيار على صورة سلاسل كثيرة
الانحناء او قليلته على حسب شدتها ومن هذا القبيل جبال السحب اي
اللبانات التي يشدها الرجال او الخيول بواسطة جبال صغيرة مربوطه
في نقط مختلفة من الجبال الاصلية ثم ان شد الجبال الكبيرة والصغيرة
والنقل وانعدام قوى الجر كل ذلك مسائل مهمة تحل بواسطة القواعد
المذكورة في هذا الدرس ولترد استعمال تلك السلاسل نوع اوضح فيما يتعلق
بادوات السفن فنقول

يلزم أن تنسب الى السلسلة او الى كثير الاضلاع الجبالي توازن الحواشات
وهي الجبال الممدودة من احد شاطئ الانهر الى الشاطئ الاخر وهي
مربوطة في نقط مرتفعة ارتفاعا كافيا بحيث تمر من تحتها السفينة
ذات الصاري ويمكن أن يجرى على الحواش (بواسطة البكر) الطرف
الاعلى من الجبل الذي يكون طرفه الاسفل عمسا للمركب وهذا الجبل
اياما كان وضعه يقع عليه شدة ناشئ عن التأثير الحادث في السفينة من التيار
وقد يكون هذا الشد متوازنا مع شدين آخرين حادثين من جزئ الحواش
الموضوعين على عين الجبل المسلك للمركب وعلى شماله ولاجل معرفة القوة

التي تكون لذلك الحبل او الخواش يلزم عمل حسابات الشدود الكبيرة الواقعة عليه وكيفية ذلك تعلم من خواص السلسلة وكثير الاضلاع الجبالي المتقدمة

واهم تطبيقات السلسلة والجبال على العموم هو ما ينسب للقناطر المعلقة (شكل ١٥) غير أنه يلزم قبل تعريفها أن نذكر الخواص الهندسية المتعلقة بالسلسلة لأنها كثيرة الفوائد فتقول

اذا كان A و B النقطتان هما طرفا سلسلة AB (شكل ٩) موضوعين على ارتفاع واحد كانت السلسلة المذكورة التي هي على صورة المنحنى متائلة بالنسبة الى رأسى C الممتد من نقطة D التي هي منتصف AB بحيث تدعى CD بكون جزء الشمال وهو AD يخالف في الصورة والمقدار جزء الجنوب وهو

BD

وقد يحدث من الاكليل وخيوط الذهب والحديد والقياطين والاهذاب والازهار المعلقة في قط ليست على رأسى واحد سلاسل يتنوع تماثلها بتنوع الانحناءات والاضلاع وظرافة هذا التنوع من اسرار الفن الذي الغرض الاصلى منه زخرفة المنازل والعمارات العامة ولا بد للنقاشين والمصورين من معرفة الانحناء الذي يكون للسلسلة حتى يجعلوا الاشياء المزخرفة على شكل محيطات حقيقية

فاذا اعتبرنا أن نقطة E تكون ثابتة (شكل ٩) وحذنا AE فان الجزء الباقي وهو EB لا يكون خارجا عن التوازن فاذا مددنا بحيثند مستقيم EF الافقى واخذنا نقطة F عرضا عن نقطة B وجعلناها نقطة ثانية ثابتة فان جزء EB يكون متائلا

مع FB

فإذا لم يكن طرفا السلسلة (التي هي على صورة المنحنى) وهما $\overline{ه}$ و $\overline{ب}$ موضوعين في ارتفاع واحد فانا اذا مددنا من طرف $\overline{ه}$ الذي هو دون الطرف الآخر في ارتفاع خط $\overline{هف}$ الاقنى كان جزء السلسلة وهو $\overline{هث}$ الموضوع تحت الاقنى المذكور متماثلا بالنسبة لعمود $\overline{شغ}$ النازل من نقطة $\overline{غ}$ التي هي منتصف $\overline{هف}$ وكانت نقطة $\overline{ث}$ مخفضة عن جميع ققط السلسلة المذكورة

وحيث ان منحنى $\overline{هثف}$ متماثل بالنسبة لرأسي $\overline{شغ}$ فان مركز نقل هذا المنحنى يكون على الرأس المذكور ولعمد مستقيمي $\overline{هو}$ و $\overline{فو}$ مماسين للمنحنى المذكور في نقطتي $\overline{ه}$ و $\overline{ف}$ ثم نأخذ جزء $\overline{ور}$ الرأسى ونجعل $\overline{ه}$ دالا على ثقل ذلك المنحنى فتكون اضلاع متوازي الاضلاع

وهو $\overline{وررر}$ دالة على الشد والحاصلة للثقل في نقطتي $\overline{ه}$ و $\overline{ف}$ وليكن المطلوب الآن الشد الحاصل في نقطة $\overline{ث}$ التي هي اخفض ققط المنحنى فاذا مددنا $\overline{شو}$ و $\overline{وب}$ (شكل ١٠) مماسين للمنحنى في نقطتي $\overline{ث}$ و $\overline{ب}$ فان مركز نقل منحنى $\overline{ثب}$ يكون على رأسي $\overline{و}$ و $\overline{الار}$ بنقطة $\overline{و}$ واذا رسمنا على $\overline{ور}$ و $\overline{و}$ و $\overline{وب}$

المتحدة متوازي الاضلاع وهو $\overline{ورحض}$ فحتى $\overline{دل}$ و $\overline{وح}$ على ثقل قوس $\overline{ثب}$ كان $\overline{وض}$ دالا على الشد الحاصل في نقطة $\overline{ث}$

وخط $\overline{ورح}$ دالا على الشد الحاصل من المنحنى في نقطة $\overline{ب}$ لكن يدرى في متوازي الاضلاع المذكور أن $\overline{رح} = \overline{وض}$ وحيث ان

$\overline{ورحض}$ مثلث قائم الزاوية فان $\overline{ورح}$ يكون دائما اطول من $\overline{وض}$

يعني أن الشد الحاصل من المنحنى في نقطة ب يكون دائما أقوى من الشد الحاصل للمنحنى في نقطة ث

وكما صعد الانسان الى اعلى حدث من مماس ب و خ مع الخط الرأسى زاوية حادة جدا وبقى طول و ض على حاله وازداد طول و ح كقل المنحنى واخذ ضلع و خ في الازدياد فعلى ذلك يكون شد المنحنى عظيما جدا في قطعه الكثيرة الارتفاع

فاذا فرضنا حيث أن المنحنى له قوة واحدة في جميع طوله فان اول ما يحصل الاتقطاع يكون في النقط الاكبر ارتفاعا من غيرها فلنفرضنا أن المنحنى يساوم في هذه النقطة لكأنه مقاومة في النقط المتوسطة بالطريق الاول

فاذا امتد في مثل ح و ض (شكل ١٠) القائم الزاوية ضلع و ح الذي هو ضلع زاوية و القائمة وبقى الضلع الآخر هو و ض على حاله فان الضلع الاكبر هو ح ض يقرب شيئا فشيئا من مساواة ح و ولنفرض الا أن الشكل الذى يدل عليه منحنى ث ب (شكل ١١) و (شكل ١٢) يزيد مقاراه او ينقص دفعة واحدة مع التناسب في جميع اجزائه فنقول ان التوازن يستكون باننا لا يتغير اصلا وان صورة المنحنى بهذا السبب لا يتغير ايضا

وذلك لانه في المنحنى المبدي اذا كانت نقطة م مثلا في وضع يشبه وضع نقطة م في المنحنى الاول حدث من مماس م و مع رأسى د ث و الزاوية التي تحدث من مماس م و مع رأسى د ث و حيث ان طول المنحنين مناسب لبعدي ب د و س د فان نسبة قتل منحنى و ح الى قتل منحنى و خ تكون مساوية لنسبة شد و خ الى شد و ح الحاصلين للمنحنين في تقاطع م و م د

فعلى ذلك يكون الشدان متزايدين من جميع الجهات في نسبة واحدة مع ثقل الجبل ويكون وضعهما في هذه الحالة متشابه الوضوعهما في الحالة الاولى فيكونان متوازيين عند تأثيرهما في منحن صورته واحدة

ولتذكر قاعدة اصلية وهي ان الشدين الحاصلين للمخنيين المتشابهين في نقطتين متشابهتي الوضع تكون نسبتها كنسبة البعدين المتشابهين او المتقابلين في هذين المخنيين

قباء على ذلك اذا قابلنا بين مخنيين متشابهي الشكل وكان احدهما اصغر من الآخر مرتين واقل منه مرتين او اصغر منه ثلاث مرات واقل منه ثلاث مرات او اصغر منه اربع مرات واقل منه اربع مرات فان الشد الحاصل لهذين المخنيين في نقطتين متشابهتي الوضع يكون واحدا

ولتقابل الآن بين الشدين الحاصلين لمخنيين غير متشابهين فلا يفرض الامكنيات قليلة الانحناء جدا لاجل الاختصار في البحث والاقصا في الاشغال على هذه الصورة العامة النفع في القنون ونعتبر ان هذه المخنيات اها مثل واحد في طول واحد ونفرض ان النقط الثابتة تكون دائما على بعد واحد من بعضها

ومنى كان المنحنى $\overline{ا ب}$ مثلا (شكل ١٣) انحناء قابل جدا يمكن بدون خطأ كبير ان نعتبر ان مركز ثقل كل جزء بجزء $\overline{ب}$ من هذا المنحنى يكون موجودا على رأسي $\overline{ه}$ الموضوع على بعد واحد من طرفي $\overline{ا ب}$

و $\overline{ب}$ فاذا اخذنا من نقطة $\overline{غ}$ التي هي المركز المذكور رأسي $\overline{ه غ}$ الى مستقيم $\overline{ا ب}$ حدث معنا ان $\overline{د ف} = \overline{ف ب}$ واذا ازلنا من نقطة $\overline{ب}$ عمود $\overline{ب ع}$ على $\overline{ا ب}$ المتدحدث معنا ان $\overline{ش ه} = \overline{ه ب}$

ولجعل الان نقطتين في المنحنى كنقطتي $\overline{ا}$ و $\overline{ب}$ ثابتين ونعدهما سي $\overline{ش ه}$ و $\overline{ه ب}$ المتطرفين فيكونان ضلعين لتوازي الاضلاع وهو

ش هـ ف الذي وتره هـ ف ويكون هذا الوتر دالا على نقل قوس
ت ب وضلعاه وهما هـ ب و هـ ت دالين على الشدين الحاصلين
للجبل في تقطعي ب و ت

فاذا كان سهم شد صغيرا جدا بالنسبة لطول ا ب فلا فرق بين
ش ب و هـ ب وبين ف ب و ش هـ فاذن يكون شد الجبل
او السلسلة الحادث عنها المنحنى واحدا تقريبا في سائر امتداده غير انه لاجل إبقاء
الشد على حالة واحدة في جميع قفله يلزم أن يكون سهم شد معدوما
فاذا اعتبرنا الان أن نثل المنحنى ثابت ومدلول عليه بخط و ر فان الشد

الحاصل للجبل في نقطة ب يكون مدلولاً عليه بخط و خ فتمد لاجل
ذلك خ ر اقصيا الى و خ المتتالي الذي هو امتداد تماس ب هـ

ولكن يوجد معنا مثلنا ب هـ و و خ ر المتشابهان اللذان يوجد
فيهما ب هـ : ب هـ :: و خ : و ر فاذن يكون

$$\text{و خ} = \text{و ر} \times \frac{\text{ب هـ}}{\text{ب هـ}}$$

وحين ان ب هـ يساوي شد و ب هـ يختلف قليلا
عن ١ ب هـ فانه اذا كان ب هـ = شد صغيرا جدا
حدث على وجه تقريبي

$$\text{و خ} = \text{و ر} \times \frac{\text{ب د}}{\text{شد}}$$

فاذا لم يتغير حيث بعد طرفي ا و ب ونقل الجبل الذي يدل عليه و ر
فان شد و خ يصير على نسبة من عكسة من سهم شد فاذن يلزم أن يكون
شد و خ الحاصل في نقطة ب او في نقطة ا عظيم جدا ليكون شد

صغيرا جدا او محدودا بالكليّة و بناء على ذلك اذا كان هنالك جبل مشدود شدا
اقتيا من طرفيه فانه يلزم أن يكون مشدودا بقوتين عظمتين جدا حتى يكون
محدودا بالضبط مدامستقيما

وقد حق لنا أن نبرهن تفصيلا على هذا الحالة نظرا لمن يقول بصعوبتها فنقول
اذا كان هنالك جبل خفيف جدا وليس هنالك ما يعارضه و اريد شدة شدا ثويا
من نقطتين موضوعتين على ارتفاع واحد فانه يتعذر شدة من النقطة التي
يكون فيها مستقيما بالكليّة

(بيان تطبيق ما تقدم على ادوات السفن)

ثم ان استعمال الخواص التي ذكرناها في شأن المخني لا يخلو عن فائدة عظيمة
وبه تظهر الجهودات التي تعملها الحبال في كثير من الصور المهمة والمراد
بادوات السفن مجموع الحبال المستعملة في اسناد صواري السفينة وقرياتها
وفي تحريكها

فصواري شد و هف و غش الراسية (شكل ١٥)
ممسكة من جزءها الاسفل بعدة من الشواحي و يجرها الاعلى عقدة جارية
مصنوعة من جبل عظيم يسمى عندهم بالميدة او الجاعوص وهو الذي يستند
عليه الصاري وهذه العقدة تنزل من المؤخر الى المقدم وتثبت في نقطة من
السفينة متى ارتفع المؤخر وانخفض المقدم عند الاضطراب والتحرك فان الميدة
تكون مقاومة وتمنع الصاري عن الكسر عند سقوطه الى جهة الخلف
وتستعمل الميدة زيادة على ذلك لتعادل ما ينشأ عن الحلية او الاطراف من
الجهودات العظيمة والحلية او الاطراف هي حبال منقنية من منتصفها
ومربوطة فيه بحيث يحدث عنها فتحة عريضة تمر بها رأس الصاري فيتكون
من طرفي كل جبل حليتان او طرفان يكونان ثابتين على جانب واحد فلنا تراهم
يضعون بالتعاقب للصاري الواحد حليتين في جانب السفينة الايمن وآخرين
في الجانب الآخر

وتكون الاطراف شاذة معاراً من الصاري عند الهبوط من منتصف السفينة الى جانيها ومن الامام الى الخلف

فاذا كانت الميدات والاطراف مائلة بحيث لا يحدث عنها خطوط مستقيمة مهما كان الشذ الحاصل لها فانه يحدث عنها منحنيات والمنحنيات الحادثة عن الاطراف لها انحناء ظاهر قليلا لان هذه الحبال تقرب من الاتجاه الراسي قربا كافيا بخلاف المنحنيات الحادثة عن الميدات والجواغيص البعيدة كثيرا عن الاتجاه الراسي المذكور فان انحناءها يكون ظاهرا بالكلية ثم ان المنحنى الحادث عن الميدة او الحلية يتغير انحناءه في كل دفعة جديدة تعرض له من الريح والامواج

فاذا دفع الهواء السفينة من الخلف الى الامام قص انحناء المنحنى الحادث عن الاطراف لاجل ازدياد انحناء المنحنى الحادث عن الميدات واذا هبت الريح من جهة قص انحناء المنحنيات الحادثة عن الاطراف الموجودة في هذه الجهة لاجل ازدياد انحناء المنحنيات الحادثة عن الاطراف الموجودة في الجهة التي تقابلها

وقد يكون اعتبار الاطوال التي تقبلها المنحنيات الحادثة عن الاطراف والميدات اما بمقتضى المادة التي تتركب منها هذه الحبال او بمقتضى جنس المنحنيات الحادثة عنها مهما جذا في ادوات السفن وفن الملاحه ويمكن أن نستعمل عوضا عن الحبال المتعدة السمك في جميع طرلها الحبال التي يتقص سمكها من الجهة السفلى بحيث لا يكون لها في نقطتها المنخفضة الاتقوة اللازمة لمقاومة الشد الاصطناعي الذي يحدث في هذا الجزء لخل طرف من الاطراف

ويعسر في هذه الصورة الاخيرة صناعة الحبال الا انه يترتب عليها وفر عظيم وبها تصير ادوات السفن خفيفة جدا وهناك ايضا كثير من التحسينات ليس هذا محلها لان ما ذكرناه يكفي في بيان الكيفية التي بها يتيسر في كل وقت حساب شد الحبال واتجاهها الا فاع

* بيان القناطر المعلقة *

والموضع الآن كيفية عمل هذه القناطر وتوازنها نقول
 لنفرض أن جبلا أو سلسلة يتدّين قطعي $\overline{آ}$ و $\overline{ب}$ وأن جبلا أو سلاسل
 أخرى رأسية يقال لها حفاظية مثل $\overline{م م}$ و $\overline{د د}$ و $\overline{و و}$ و $\overline{ح ح}$ الخ
 تربط في هذا الجبل من نقط مختلفة منه على بعد واحد من بعضها ويوضع
 جبلان متساويان مثل جبل $\overline{آ م د و ح ب}$ بجانب بعضهما
 ويكونان على ارتفاع واحد ويوصل بعوارض اقية اطراف تلك الجبال
 الحفاظية الموضوعة بمجاء بعضهما ثم يوضع على هذه العوارض المتوازية سقف
 فيكون ذلك هو القنطرة المعلقة

ولاجل تعيين شروط توازن القنطرة المذكورة يلزم أن نعتبر أن كل جبل
 مثل $\overline{آ م د و ح ب}$ يحمل جزءاً من القنطرة ثقله واحد في خلال
 الجبال الحفاظية بخلاف نقل تلك الجبال فانه يزاد كلما قربنا من طرفي
 الجبل

وحيث ان ثقل الجبال الحفاظية قليل بالنسبة لثقل القنطرة الكلي فلا نزاع
 أن الجبل الثقيل يحمل انتقالا متساوية في مسافات اقية متساوية وحيث قد
 يكون المنحنى الحادث من الجبل المذكور قطعاً مكافئاً وقد برهن على ذلك
 في كتب أخرى

وعلى ذلك فيمكن أن نحصل في اسرع وقت وضع مركز ثقل جبل $\overline{آ م د و ح ب}$
 ونقطه $\overline{ط}$ التي يتقاطع فيها مماس ذلك الجبل لانه في القطع المكافئ الذي

$$\text{سهمه} = \text{سهم} \text{ يكون } = \text{سهم} \text{ م } \text{ ط}$$

فاذا رسمنا متوازي اضلاع مثل $\overline{ط آ م ر}$ على $\overline{آ ط}$ و $\overline{ب ط}$ اللذين هما
 مماسا لسلسلة التعليق المعتبرة $\overline{ك ك}$ قطع مكافئ حدث عن ذلك أن نسبة
 ثقل السلسلة الى الشد الحاصل لها في قطعة $\overline{ط}$ تكون كنسبة $\overline{م ط}$

الى $\overline{ا ط}$ فاذا مددنا $\overline{ا ب}$ موازيا الى $\overline{ا ب}$ حدث هذا المناسب وهو
 $\overline{م ط : ا ط :: ٢ ط : ا ط :: ٤ م : ا ط :: ٨ م : ا ط}$
 وبالجمله فحق كان سهم $\overline{م م}$ صغيرا بالنسبة لطول $\overline{ا م}$ امكن
 أن نعتبر أن $\overline{ا ط}$ و $\overline{ا ب}$ متساويان فاذن تكون في هذه الحالة نسبة
 ثقل السلسلة الى الشد الحاصل لها في نقطة $\overline{ا}$ ككفية سهم السلسلة
 ثمانى مرات الى بعد $\overline{ا ب}$ الحاصل بين $\overline{ا}$ و $\overline{ب}$ اللتين هما نقطتا
 الارتكاز

وينبغي لنا أن ننبه على أن هذا المقدار ليس الا تقريبا ومتى تعذر اختلاط
 طولى $\overline{ا ط}$ و $\overline{ا م}$ ببعضهما بدون خطاين لزم اخذ نسبة $\overline{ا ط}$
 : $\overline{٤ م : م}$ عوضا عن $\overline{ا ب : ٨ م}$

ويسهل علينا حساب قوة الحبال الحفاظية الرأسية بتقسيم ثقل سطح القطر
 على عدد تلك الحبال ويلزم أن يكون سمك الحبال المذكورة مناسباً لعدد
 الكيلوغرامات الذى يوجد في خارج هذه القصة
 ثم ان القناطر المعلقة الكبيرة المشيدة لعبور الانهر العظيمة يصنعها مهندسا
 القناطر والجسور او كبار المتعهدين واما القناطر الصغيرة الوفرية (اى القليلة
 المصاريف) المعدة لعبور الامطار والسيول والجارى الصغيرة ومشى الناس
 وسير النقالات الصغيرة ونحو ذلك والمستعملة ايضا واصله بين عمارتى معمل كبير
 واحد فانهم تصنع بدون صعوبة ولا بد منها فى سائر فروع الصناعة

ويستعمل في هذه القناطر غالبا سلوك من حديد بدلا عن السلاسل وتكون
 هذه السلوك مجموعة على صورة خرمة يحيط بها سلك على هيئة بريمة حلزونية
 كالانوار المعدنية التى فى آلات اللويسى (واقول قوة فرض للسلك هو أن يحمل
 ٤٠ كيلو غراما فى كل ملية مربع من القطاع بدون أن يتقطع فلا يحمل
 فى كل ملية الا ٢٠ كيلو غراما) وقد تكون قضبان الحديد مستعملة
 كالحبال الحفاظية فتكون العوارض الصغيرة التى عليها الواح بسيطة طولية

كافية في تمام القنطرة وفي هذه العمارات وفر عظيم على ما فيها من الصلابة عند تناسب شكلها وابعادها بموجب ما ذكرناه في هذا الدرس من القواعد المتعلقة بتوازن الجبال

ثم ان المهندس سغوين دوناي وهو اول من شيد القناطر المعلقة في مملكة فرانسا باولك من حديد قدايدى في هذا المعنى مثالا كثير الجدى وهو انه صنع في معمله قنطرة لعبور المشاة من الناس طولها ثمانية عشر مترا تقريبا وعرضها مستخدم سميت ولم تبلغ مصاريفها الا خمسين فرنكا والى كتابا في المبادئ كثير الفائدة لمن اطلع عليه عن برغب في عمل القناطر المعلقة الصغيرة ومن اراد التثبت بالمهم من اشغال هذا النوع فعليه بمطالعة رسالات الميرالاي دو فور التي تحليلاتها عما اشتملت عليه وحلاتنا الى جزائر ابريطانيا الكبرى وبالاطلاع على كتاب المهندس ناويه احدا أعضاء جمعية العلماء وهو كتاب جليل يستل على دقائق تلك الاشغال وبالوقوف على الجزء الثالث من وحلاتنا المذكورة الذي تكلمنا فيه على القوة التجارية وينافيه تخطيط القناطر الكبيرة المعلقة المصنوعة في انكلترا والقبائل الفرنسية وذكرنا فيه مستوياتها

وحيث انتهى الكلام على الجبال الواقع عليها تأثير قوى حينما اتفق وكذلك تأثير التناقل بحكم الآن على الجبال التي تطبق على سطح الاجسام الصلبة فنقول اذا كان الجبل مطبقا على سطح ومشدودا من طرفيه فانه بالضرورة يتغير وضعه بقدر ما تحرك كل قوة الى جهة اتجاهه الحقيقي وبقدر ما يأخذه ذلك الجبل من الوضع الذي يشغل فيه طولا عظيما على السطح ولا يمكن حصول التوازن في ذلك الا في الوضع الحقيقي الذي يشغل فيه الجبل المذكور على السطح وضع اقصر خط يمكن مده بين نقطتين حينما اتفق من ققط تماس الجبل بالسطح فيكون حيثئذ للخطوط القصيرة التي يمكن رسمها على السطوح ارتباط ضروري بوضع توازن الجبال المطبقة على السطوح والمنشود من اطرافها (والخاصية الهندسية لهذه الخصيات وهي الجبال المذكورة هي انه اذا رسمنا

من كل نقطة من قطعها مستويا ملاصقا لها يلزم أن يكون هذا المستوى عموديا على السطح الذي يكون المنحنى المذكور منسوباً عليه وبناء على ذلك إذا دقت عدة توافد في قط مختلفة من المنحنى عموديا على سطح R مع ملاحظة اتجاه المنحنى بحيث يحدث عن الأشعة البصرية مستوي يمر بكل من تماس المنحنى والوتر العمودي على النقطة المعتبرة \llcorner كان المستوى الحادث من الأشعة البصرية المذكورة ملاصقا للمنحنى الذي يظهر أنه لا انحناء له أصلا في تلك النقطة وهذه الخاصية يمكن استعمالها على وجه تقريبي في أقصر منحنى يمكن رسمه على السطح بالابتداء من نقطة معلومة في اتجاه معلوم

وإذا كان الحبل منتبها على سطح وكان مؤثرا على كل من طرفيه قوة لزم أن تكون هاتان القوتان متساويتين حتى يحصل التوازن فإن لم يكونا كذلك فإن الحبل يتحرك في جهة كبراهما كأنه لم يكن هنالك القوة واحدة مؤثرة في تلك الجهة وهذه القوة ليست الا فاضل القوتين الأصليتين

ويكثر في القنوج استعمال الحبال المشدودة على السطوح فإذا أراد صنع السفن أن يجعلوا السطح اضلاع السفينة و سطح حوافها انحناء تاما متواصلا فانهم يشدون على الجهة الطويلة حبالا ويجعلون لها اتجاها منتظما جدا في جهة طول الحواف المذكورة ثم يرفعون بالتوالي الاجزاء البارزة كثيرا من قطع الخشب الموجودة بين المسامير المختلفة التي يثبت بها الحبل على السطح فيكون لهذا الحبل المشدود من طرفيه اتجاه وانحناء أقصر خط يمكن رسمه على سطح السفينة بين المسامير المتوالية

وهناك سطوح يمكن احاطتها احاطة تامة بحبل طرفاه منضمات الى بعضهما ومتصلان اتصالا تاما بواسطة عقدة او غيرها ولا يصل هذا الحبل الى الوضع الذي يكون فيه متوازنا الا اذا كان تابعا بالضبط لاتجاه أقصر خط يمكن مده من النقطة التي يوجد فيها العقدة وذلك يكون عند الدوران حول الجسم لاجل الوصول الى العقدة المذكورة

ويوجد في ملابس الرجال والنساء ما يشبه تلك الحبال المطبقة على السطوح

وذلك كالتوايش والاحزمة فانها اقصر خطوط يمكن رسمها على سطح الجسم مباشرة او مستورا بالملابس فاذا كان وضع الحزام مرتفعاً فانه يكاد أن ينخفض واذا كان وضعه منخفضاً فانه يكاد أن يرتفع

وهناك عدة اشياء من زينة النساء والرجال متخذة من خطوط كبيرة او صغيرة ممتدة على سطح الرأس كالسلاسل والقياطين المجدولة مع الشعر في العصابات اليونانية والرومانية وكتيجان آسيا والقياطين المرسلة من الاكاف الى الاوراك وسيور النعال ونحو ذلك

وينبغي أن تكون الاربطة والاساور والاطواق والاقراط شبيهة بالسلاسل الموضوعة على سطوح متنوعة او بخطوط التركيب التي تحيط بسطح السوق والاذرعة والاصابع والرقبة في الاتجاهات القصيرة من الاعضاء

وسياً في ذلك عند الكلام على تحريك البكرات أن الجبال تكون موضوعة في حلق دواليب البكرات المذكورة حسبما يقتضيه اقصر خط يمكن رسمه في هذا الحلق

ويؤخذ من جزر العربات بالخيول تطبيقات مفيدة متنوعة جداً تتعلق باختلاف الخطوط القصيرة التي يمكن رسمها على سطح جسم هذه الحيوانات وليست المزانق والقشاطات والالجمة وغيرها من عدد الخيول خارجة عن القواعد المقررة في شأن توازن الجبال المطبقة على السطوح

وها هنا انتهى الكلام على الجبل من حيث تطبيقه على سطح واحد وشدة من طرفيه فقط ولنقرض الآن انه يكون مشدوداً زيادة على ذلك من نقطة متوسطة فتوجد شروط التوازن في هذه النقطة اذا فرضنا ان القوتين اللتين تشدان الجبل من طرفيه تكونان متقويتين على اتجاه الجبل المذكور الى النقطة التي تكون القوة المتوسطة مؤثرة فيها ويلزم أن تكون هذه القوى الثلاثة متجهة ومناسبة معا بحيث تكون متوازنة في النقطة المذكورة كالمكان الجبل لا ينسب لسطح تام من السطوح

ثم ان القواعد المذكورة في شأن الاشكال الكثيرة الاضلاع الجبلية من حيث تساوى الشدود في كل نقطة متوسطة واقع عليها تأثير قوة خاصة هي عين

القواعد المطبقة على الاشكال الكثيرة الاضلاع الجبلية التي تكون فيها اجزاء الجبال منتنية على سطحها ويلزم دائماً أن تكون الشدود الحاصلة في جزء من الجبل اعنى على عيين القوة المتوسطة وشمالها متوازنة مع هذه القوة وأن تكون الشدود الحاصلة في كل جزء من الجبل بين قوتين متوسطتين متساوية ومتضادة الاتجاه

وفي عدد خيول العربات التي اسلفنا ذكرها امثلة متنوعة تتعلق بالاشكال الكثيرة الاضلاع الجبلية

وذلك لانه ليس الغرض من شرط توازن القوى وتناسبها في تلك الاشكال بمجرد الرغبة اذ من البديهي ان صلابة كل جزء من هذه العدد تكون مناسبة لما يبذل من الجهود التي يلزم أن الجزء المذكور يتحملها وان الاجزاء المتنوعة من العدد المذكورة تكون مفصلة على وجه بحيث تكون متوازنة مع وجود تأثير التناقل وقوى الجر والاعتراض تلك العدد بالضرورة وصار الجر دينا

وبتطبيق الهندسة والميكانيكا على تناسب عدد خيول العربات وتفصيلها لاسيما في القنون الحربية يتوصل الى جعل ثقل هذه العدد في النهاية الصغرى وجعل صورتها موائمة لتطبيق قوة الخيول والانتكيز والنسابة هم اول من عرف ذلك وعاد على خيولهم وعرباتهم النقلة بالمنفعة العظيمة وقد بقي علينا امور كثيرة يحتاج اليها في هذا الموضوع لاسيما في عدد خيول العربات المعدة لنقل لوازم الزراعة والتجارة فهو غرض مهم يلزم حث الصناتعية وتحريضهم على الاعتناء به والالتفات اليه

فاذا استعملنا عوضا عن الجبال المعتبرة كالخطوط الهندسية جبالا حجمها معلوم ولها صورة خاصة كالقوايس والسيور ونحو ذلك فانه يلزم أن تكون على السطوح التي تستند هي عليها والاتقيرت عن اصلها وحينئذ نعتبر السيور والقوايس كالسطوح المنفرجة المماس لسطح الجسم الذي هي موضوعة عليه وهذا ايضا ما يطبق على ما اسلفناه في الدرس العاشر من الهندسة

ثم ان كيفية تعليق الاحمال بالحبال ليسهل حملها على الناس جديرة بالاعتناء بها
والالتفات اليها بخصوصها فمن ذلك كيفية سهلة مناسبة وهي ربط قائتين
في ظهر جربندية العساكر او دلوى سقائى الا فرج وجعلهما مارتين من
تحت الابط وفوق الكتف ولا يمكن توازنهما الا اذا كان لهما اتجاها اقصر خط
يمكن مده من تقطعي الارتباط ويكون مارتان تحت الابط وفوق الكتف
ايضا وهذا هو السبب في كونهم يجبرون في الغالب على امساكهما بجبل
افقى مارت بالصدر واصل من احدهما الى الآخر وبذلك يسهل تعيين الشد
الحاصل للجبل المذكور والزوايا الحادثة منه ومن القائتين في نقطة وقوعه
وهناك كيفية اخرى تتعلق بالقائش وهي كيفية السقاء حيث يضع القائش
على كتفيه وينزله بقدر طول ذراعيه الى ارتفاع يديه الذي ينتهي فيه القائش
من كل من طرفيه بحمالة تملك بأذن الدلو ولاجل منع الدلوين عن القرب
من ساقى السقاء بواسطة ثقلهما يفرق بينهما بطارة فيسهل حيثئذ تحصيل
الشد الحاصل للقائش ويلزم أن يكون متوازنا أولا مع ثقل كل دلو وثانيا
مع قوة الحصر الحادثة من الطارة التي نعدم بها الجهد الحاصل من الدلوين
لاجل اقترابهما من بعضهما

وفن ربط انواع الرزم بخيوط الدبار تمبنى على خواص توازن الحبال الممدودة
على السطوح ومعرفة ذلك سهلة كعرفة تطبيق الحبال وربما سرت التلامذة
من مباشرة اجراء ذلك يا فهم ومن تحققهم في عمليات الصناعة من تصور
التطبيقات

ومن القنون المستطرفة التي تطبقها متنوعة وعملياتها بديعة فن رسم
مخضيات على سطح الجسم الانسانى وعلى سطح الملابس تكون اقصر خطوط
يمكن رسمها على هذين السطحين وتحقق هذا الوصف فيما يكون لها ارتباط
باسباب التغير والسهولة والانتظام والظرافة

وقد سبق انه يكون للعززون خاصية هندسية وهي انه يكون اقصر خط
يمكن رسمه على اسطوانة بين اى نقطتين من هذا الخط وبناء على ذلك يمكن
أن نقي حبالا حلزونية على سطح اسطوانى ثم نشد هذه الحبال من اطرافها

مع تماس اتجاهااتها بدون أن يتغير شئ من الانحناء الحاصل منها حول الاسطوانة

وقد جرت عملية عظيمة جدا من هذه الخاصية الهندسية في الآلات التي يلزم فيها انثناء الحبال على السطوح كما في عملية انثناء الحبل على الآلة المعروفة بالتجنيق الآتي ذكرها في الدرس العاشر ومن هذا القبيل اوتار الكمنجة والعود والقانون فهي حادثة من وزمر كرى ينشون حوله على صورة حلزون سلكا معدنيا فيكون شد هذا السلك واحدا في جميع نقط طوله متى كان بهذه الصورة الحلزونية وبناء على ذلك يكون الاهتزاز الحاصل عند تحرك الآلة واحدا في جميع اجزاء الوتر وهذا ناشئ عن خواص الانحناء الحلزوني والشبكات متكوّنة من الخيوط المرتبطة مثنى بنقط على نسق واحد وهناك شبكات الغرض من صنعها أن تنطبق على السطوح انطباقا صحيحا كالشبكة التي تغطي بها القباب الطيارة وتنتهي بحيط المركب التي تقلبها تلك القباب وبمقتضى القواعد المذكورة في هذا الدرس يسهل حساب الشد الحاصل لكل خيط من الشبكة

وفي زينة النساء غالبا شبكات معدة لتغطية بعض اجزاء من سطح شعورهن وملابسهن كالنسيج الذي يكون في العصاية وهو المعروف بغطاء الالماس والشبيكات واصطناع ذلك على صورة الشبكات يجعله ملائما لانثناء الاجسام البشرية وانحنائها اتم الملائمة

*(الدرس السابع) *

في بيان ما بقى من الحبال وفي التحركات المستديرة للحبال والقضبان والمجالات والطيارات وفي مقادير الايرسى وفي البندولات

لتفرض ان قوة S تكون واقعة عموديا على قطعة A التي هي احد طرفي حبل AB غير القابل للتمد والمجرد عن التناقل فيكون طرفه الآخر وهو B مربوطا في نقطة ثابتة
واذا كانت قوة S المذكورة مؤثرة زمانا بدون معارض فانها تسير

نقطة \bar{A} المادية الى الامام تسييرا مستقيما وتبعدها كثيرا عن نقطة \bar{B} الثابتة غير أن الجبل المستعمل لذلك يمنع النقطة المادية المذكورة أن تكون بعيدة عن نقطة \bar{B} اكثر من البعد الاول وهو \bar{AB} فاذن يجذب هذا الجبل النقطة المادية ليجعلها على بعد ثابت من النقطة المعينة وبواسطة هذه المقاومة تجذب قوة \bar{AS} الجبل الذي هو مشدود دائما بسبب تأثير هاتين القوتين فاذن ترسم نقطة \bar{A} التي هي طرف هذا الجبل دائرة فيرى في ذلك ثلاث قوى متباينة احدها قوة \bar{AS} العمودية على نصف

قطر \bar{AB} والمتجهة على \bar{AS} الذي هو مماس الدائرة المقطوعة بنقطة \bar{A} المادية وهذه القوة هي المعروفة بالقوة المماسية والثانية القوة الجاذبة للجبل جهة المركز وهي المعروفة بالقوة المركزية والثالثة القوة التي تجذبه لتبعد نقطة \bar{A} عن المركز وهي المعروفة بالقوة المبعدة عن المركز وهي مساوية للقوة المركزية ومضادة لها ولذا كرا النسبة الحاصلة بين القوتين الاخريتين والقوة الاولى فنقول

لترسم شكلا متوازي الاضلاع مثل \bar{AMN} على ضلعي \bar{AN} و \bar{AM} المتساويين فيكون قطره وهو \bar{MN} دالا على ما يلزم من الجهد لاستبدال اتجاه \bar{AM} باتجاه \bar{AN} وانتقال الجسم من \bar{A} الى \bar{N} وهذا الجهد الممين بخط \bar{AM} هو القوة المركزية

فاذا مددنا نصف قطر \bar{SN} كان مثلثا \bar{ASN} و \bar{ANM} متشابهين لانهما متماثلان وفيهما زاوية مشتركة وهي \bar{A} فاذن يحدث هذا تناسب وهو

$$\bar{SN} : \bar{AN} :: \bar{AN} : \bar{AM} = \frac{\bar{AN}^2}{\bar{SN}}$$

بمعنى ان \bar{AM} الدال على كل من القوة المركزية والقوة المبعدة عن المركز يكون مساويا لمربع القوة المماسية مقسوما على نصف القطر

وبمثل هذه البرهنة يعلم اننا اذا اخذنا $ان = ن ن = ن ن$ الخ
واوقعنا على $ش ن$ و $ش ن$ و $ش ن$ الخ قوة مركزية جديدة
مساوية دائما $ام$ قطع الجسم في ازمة متساوية مسافات $ان$
و $ن ن$ و $ن ن$ الخ فاذن يكون الجسم المذكور بسرعة مماسة
ملازمة له ويحصل له في كل وقت من القوة المركزية دفعة جديدة ثابتة متى قطع
دائرة معلومة وهذا هو المعروف بالتحرك المستدير المنتظم
وفي هذا التحرك تكون السرعة المماسية مساوية للقوس المقطوع مقسوما
على الزمن المعدل لقطعه

واذا قسم القوس بنصف القطر حدث من ذلك قياس الزاوية وحيث ان تكون
الزاوية المقابلة للقوس المقطوع مساوية للسرعة المماسية مقسومة على
نصف قطر هذا القوس ومضروبة في الزمن المعدل لقطعه ويحدث من هذه الزاوية
المقسومة على الزمن قياس ما هو معروف بالسرعة المتزوية للجسم الدائر
حول المركز فاذن $تكون$ أولا السرعة المتزوية مع السرعة المماسية
على نسبة منعكسة من نصف القطر وثانيا تكون كلتا سرعتين المماسية
والمتزوية مناسبتين لنصف القطر

فحتى تغايرت انصاف الاقطار كان الزمن المعدل لقطع الدائرة تمامها على نسبة
منعكسة من السرعة المتزوية فيكون الزمن المعدل لقطع الدائرة تمامها مناسبا
لنصف القطر مقسوما على السرعة المماسية

وهذه النتائج موضحة في كثير من مسائل الميكانيكا المهمة في الصناعة
ولا تغفل انه اذا كان الجسم الدائر حول المركز مربوطا بخيط او حبل او قضيب
كانت القوة المركزية هي الشد الواقع على الخيط او الحبل او القضيب من جهة
المركز وكانت القوة البعده عن المركز هي الشد المقابل للمتقدم والواقع
على الخيط لبعده عن المركز

وراكب الفرس الذي يدور بها في الميدان يكون في مركز الدائرة ويكون

قابضاً يده على طرف عنان القوس فتكون القوة المماسية هنا هي قوة القوس
الذي يميل دائماً إلى الاقلاق من المماس غير أن الراكب المذكور يشد العنان
بقوة مركزية مساوية للقوة التي يشد بها القوس عنانه بمعنى أنها تكون مساوية
للقوة المبعدة عن المركز المنسوبة للقوس ومتى كانت سرعة القوس مضاعفة
مثنى كانت القوة المركزية مضاعفة رباع و إذا كانت السرعة مضاعفة ثلاث
كانت القوة المذكورة مضاعفة تسع مرات وهكذا وما ذكرناه في هذا المعنى
مع ما يتعلق به من النسب يلازم نحتزل المقلع الذي سنذكره قريباً

ثم إن القوس الذي يدور في دائرة قدون مائع يمنع من الدوران لا يمكنه الاستقامة
والاعتدال فيها لان القوة المبعدة عن المركز التي تهوى دائماً اجزاء جسمه
تدفعه دفعا اقويا إلى خارج تلك الدائرة بل تكاد توحشه فلاجل مقاومة
تاثيرها يميل القوس بأعلى جسمه إلى جهة مركز الدائرة التي قطعها و يلزم
أن يكون هذا الميل متزايدا بقدر مربع سرعته و يعظم ميله متى أسرع
في العدو والجري * ولاجل أن يمكنه السير بدون صعوبة عند ميله إلى جهة
مركز الدائرة يميل به الراكب دفعة واحدة إلى الطريق المستدير الذي يلزم
قطعه (شكل ٢)

وإذا كان القارس قائما على قوسه مع الاعتدال والاستقامة فانه يجبر على الميل
بأعلى جسمه إلى جهة مركز الميدان لئلا يسقط بتأثير القوة المبعدة عن المركز
وبدل شكل ٢ على ما بين قوة التناقل والقوة المبعدة عن المركز من التركيب
ليحصل التوازن بين القوس وراكبه

وإذا سارت العربية ورجحت في سيرها قوس دائرة أو سارت سيرا مستديرا
لحقها تأثير القوة المبعدة عن المركز التي تكاد تقلبها إذا دارت في طريق
التخدر إلى جهة مركز الدوران وهو و حدث في هذا الوضع عن القوة
المبعدة عن المركز وقوة التناقل ما يحدث عن القوس (شكل ٢) عند دورانه
في طريق أ ب و د ه حول محور و و

ومنى كان طريق **م** اقنيا فلا شئ يقص ميل القوة المبعدة عن المركز حتى تقلب العربية
 فانما كان طريق **ن** منحدرًا بعيدًا عن مركز الدوران فان هذا الانحدار ينضم تأثيره الغير الموافق الى تأثير القوة المبعدة عن المركز فينشأ عن ذلك خطر عظيم في الانقلاب

وفي طرق **فرانس** ضرر عظيم وذلك انها محدبة من منتصفها بحيث يظهر منها الانحداران عظيمان جدًا في جهتين متقابلتين فاذا تقابل عربتان في بعض الانعطافات فان العربية المتوجهة الى الانحدار الذى يكون نحو مركز الدوران تكون متقوية بهذا الانحدار واما المتوجهة الى الانحدار الخارج فانها لا تكون متقوية بهذا الانحدار بل ربما كانت عرضة للانقلاب وعما ينبغي نظمته في سلك القواعد المطردة التى يجب العمل بها هو انه في جميع الانعطافات لا يلزم عمل انحدار خارج مطلقا وانما يلزم عمل انحدار الى جهة مركز الدوران بقدر الامكان

فاذا كانت القوة المبعدة عن المركز على نسبة منعكسة من قطر القوس المقطوع فانه ينتج من ذلك انها تكون صغيرة متى كان القطر كبيرا وتكون متزايدة متى كان القطر متناقصا واذا كان في الانعطافات القصيرة جدًا ما ليس لقوسه الا قطر صغير جدًا كانت القوة المبعدة عن المركز كبيرة وبذلك يكون الانقلاب شديد الخطر

وقصارى الامر أن هذا الخطر يتزايد بقدر مربع سرعة العربات وهذا هو الحامل لمهارة العربية والخيالة على كونهم لا يسوقون خيولهم سواقين في الانعطافات القصيرة بل يشنون على مهل متى ارادوا الدوران ولنبه هنا على ان الميكانيكا يعرف بها مع الضبط والسهولة جميع تأثيرات التحرك المستدير في الصور المهمة المتعلقة بالامن والاطمئنان في النقل والامصار ويعرف بها ايضا قواعد عمل العربات التى تصنع بموجب قوانين التحرك

فإذا كانت العجلة (شكل ٣) مربعة الحركة في الرمل أو الطين فإنها ترفع معها شيئا من ذلك تكون سرعته الماسة عين سرعتها وحيث ان ما ترفعه لا يثبت على القضبان ولا على تصاليب العجلة بقوة تسلوى القوة المبعدة عن المركز لزم أن يقع عليه تأثير هذه القوة وأن يكون مدفوعا بالسرعة التي اكتسبها ويوضع امام عجلات العربات المزينة لوح معدني عريض مستدير مثل **س س** يعرف بالمنايع لانه يمنع جميع قطع الطين الصغيرة المدفوعة بتأثير القوة الماسة

واذا لم تكن تصاليب العجلات متلاصقة بمسامير غائصة الى انصافها في اطراف تلك التصاليب المماسية وبقضبان من الحديد مسطرة لهذه التصاليب فان القوة المبعدة عن المركز تكاد دائما أن تبعد التصاليب المذكورة عن المركز وتخلعها من المسامير الرفيعة وتحدفها كالرمل والطين اذا عظمت سرعة العجلات ومتى كانت المسامير المثبتة للقضبان على التصاليب داخله قليلا في الخشب فان القوة المبعدة عن المركز تخلعها وتحدفها في اتجاه المسامير الرفيعة الممتدة وبالجملة فتجميع مجموع التصاليب والقضبان والمسامير المثبتة لها على التصاليب قواعد تعلم من نسب القوة الماسة والقوة المبعدة عن المركز وكذلك كثير من العجلات المستعملة في الآلات كإسباني

واذا ضرب الصانع بالبلطة او المطرقة ضربا قويا فان حركة الآلة في حالة الضرب تكون على شكل قوس دائرة بخلاف ما اذا كان الضرب ضعيفا فانها تمحيد عن محاس القوس الذي تقطعه فلذا كان الدوران مستديرا وكان ضرب الدبوس والبلطة والبالة ونحو ذلك بهذه الكيفية ومن هذا القبيل ايضا المتقلاع

وذلك ان المتقلاع كان قبل اختراع اسلحة النار من آلات الرمي المهمة ثم صار الآن لعبة في ايدي الصبيان وكيفية الرمي به أن يوثق بحبل خفيف كحبل **ا ب** (شكل ٤) يكون في منتصفه كفة ككفة **ث** يوضع فيها حجر ثم يضم طرفاه **هـ** و **أ** و **ب** الى بعضهما ويقبض الانسان عليهما

يد واحدة ثم يحركه فتحرك دوران فإذا استعمل في تحريكه قوة ثابتة فإن القلاع يدور بسرعة ثابتة ويكون حبله مشدودا دائما فيحدث عنه في اليد جهد يدل على القوة المركزية اللازمة لأمساك الحجر **ث** دائما على بعد واحد من مركز **أ** ومتى ادخلى أحد طرفي الحبل فإن هذه القوة المركزية لاتضاد القوة المبعدة عن المركز وكذلك الحجر لا يتحرك فتحرك كما مستديرا بل تدفعه القوة المماسية بدون مانع فيقطع في سيره خطا مستقيما اذا حذف رأسيا

وقد قطعنا النظر في جميع ما ذكرناه عن تأثير التناقل على جسم كجسم **أ** لانه اذا لم تقطع النظر عن هذا التأثير كان حل المسئلة صعبا جدا واذا اقتضى الحال اننا لجسم يدور في دائرة بحجوة فانه يتحرك على محيط هذه الدائرة بالقوة الثابتة التي تصير بهذا التحرك قوة مماسة وبها تعين سرعة سيره وهذه القوة المماسية الدافعة الجسم حتى يخرج عن المماس تعرض لها دائما مقاومة على محيط الدائرة المحجوة وهذه المقاومة العمودية على المحيط المتجهة بذلك الى جهة المركز هي القوة المركزية المساوية والمضادة مباشرة للقوة المبعدة عن المركز

وقد يستعمل في فن الطوبجية براميل دائرة على محورها ومحتوية على الرصاص المراد مقله فيلزم أن تكون صلبة هذه البراميل مناسبة أولا لجسم الرصاص المقطوف فيها وثانيا لما للرصاص من القوة المبعدة عن المركز المناسبة لمربع القوة المماسية المستعملة لتدوير الرصاص في البرميل وينبغي أن يضاف الى ذلك كثير من الطنابير الدوارة المحتوية على الرصاص المصقول او الاكر الصغيرة المتخذة من النحاس الموضوع في البارود المراد تحييه وانما اقتصرنا على التحرك المستدير للجسم المجبور على أن يتحرك فتحركا منحنيلا لان الحبل او القضيب او المحيط الجسم يجبر الجسم على اتباع هذا الخط بواسطة تأثير متجه دائما الى جهة مركز التحرك وهناك امثلة عظيمة تتعلق بالاجسام المتحركة تحركها منحنيا بدون

أن تكون ممسكة برابط من الروابط المتوسطة او المحيطات الخارجية فمن ذلك القمر فانه يتحرك في الفراغ حول الارض بدون عائق وكذلك الارض حول الشمس (شكل ٥)

ويوجد في هذه التحركات من مبدء الامر قوة ط المماس التي تدفع دائما القمر والكواكب السيارة دفعا مستقيما ثم ان الارض بالنسبة للقمر نقطة بورية لقوة ث المركزية المؤثرة دائما في القوة المبعدة عن المركز للقمر وكذلك الشمس بالنسبة للارض فانها نقطة بورية للقوة المركزية المؤثرة دائما في القوة المبعدة عن المركز للارض

فاذا توازنت القوة المركزية والقوة المماسية وكأما على نسبة موازنة للتحرك المستدير فان القمر يرسم في سيره دائرة حول الارض وكذلك الارض ترسم في سيرها دائرة حول الشمس غير ان هناك اوضاعا تكون فيها القوة المماسية ضعيفة فيكون القمر حيثئذ متباعد عن الارض والارض متباعدة عن الشمس وعند تباعدهما يكون اتجاههما المبعدة عن المركز مائلا بالنسبة للاتجاه المركزي وبناء على ذلك تكون القوة المركزية مضادة للقوة المبعدة عن المركز وتقصها بحيث يؤول امر القوة الاخيرة وهي المبعدة عن المركز الى كونها تهوق قليلا القوة الاولى وهي المركزية فيقرب الكوكب المتحرك حيثئذ من مركز تحركه وهذا هو سبب كون القمر يرسم حول الارض والارض ترسم حول الشمس مضطبا وهو قطع ناقص وتكون الارض تقطة بورية للقطع الناقص الذي يتبعه القمر والشمس تقطة بورية للقطع الناقص الذي يتبعه الارض

والقوة المركزية للارض بالنسبة للقمر هي القوة التي تسمى بقوة التناقل والتجاذب كما سبق وهي القوة التي تهبط بها الكلبة المرمية من اسفل الى اعلى وتجبرها على رسم منحنى كمنحنى ا ب ث (شكل ٦) اذا رميت رميا مائلا فاذا كانت قوة التناقل ثابتة ولم يحصل من الهواء مقاومة لتحرك الاجسام المرمية فيه فان الحجر والكلبة او الطيارة

او نحو ذلك يرسم من اول دفعة تحصل له من القوة الاصلية قطعاً مكافئاً

مثل أ ب

ومقاومة الهواء الحقيقية تنقص بها المسافة المحاطة بالمنحنى وتسطح بها

المسافة الثانية من القطع المكافئ الوهمي ويحدث عنها منحنى أ هـ ف

والقرص المهم من تجاريب فن الطوبجية هو انه بحسب بحجرات وبحجوم الكتل والجلب والرماس ونحو ذلك وكذلك بحسب القوة التي ترى بها

تلك الاشياء واتجاه الدفعة الاصلية تعين النقط التي يمكن وصول المرمى اليها على ارتفاعات متنوعة وابعاد مختلفة ولا نذكر هنا من علم

الميكانيكا الا التطبيقات العظيمة التي تحدث عنها القضايا النظرية التي تخص فن الطوبجية

وقد ثبت الا ان عند الافرنج ان الارض غير ساكنة ولا موضوعة كنقطة ثابتة في مركز العالم بل تدور بسرعة على نفسها بحيث تكمل دورتها في ظرف اربع وعشرين ساعة وهي مدة الليل والنهار وعليه فيدور ان هذه الكرة ينقل سكانها القاطنون على خط الاستواء من المغرب الى المشرق مع سرعة اكبر من سرعة الماشي مشياً معتاداً باربعاً مائة مرة

فاذن تكون كل قطعة من قط الارض مدفوعة بقوة عظيمة تكاد تنقلها بعيداً عن الكرة المذكورة وبهتة مركزية تكاد تجذبها نحو المركز وهذه القوة المركزية هي المسماة جذب الارض وحيث ان تاثير القوة المعاكسة واحد تقريباً في سائر الاجسام الموضوعة بجوار بعضها فان هذه الاجسام المتحركة بتاثير تلك القوة تكون على حالة بحيث تكاد ان تكون ساكنة

وليكن (شكل ٧) مسقط الارض موازياً لخط الاستواء بحيث يكون خط الاستواء والموازيان ك هـ ا د و ا ب و ل تقابل بين تحرك نقطتي هـ و أ الموضوعتين احدهما على خط الاستواء وهو هـ هـ هـ والاخرى على مواز ايا كان كوازي ا ا ا وعند نصف قطر و ص قريباً جداً من قطر هـ و هـ

فإذا ارتأى بمودى $\overline{سمه}$ و $\overline{س ص}$ على $\overline{هه}$ كن نصف القطر
وهما $\overline{وا}$ و $\overline{وه}$ مناسبين بدهة $\overline{س ه}$ و $\overline{اسه}$ الدالين على
القوتين المبعدين عن المركز التسويتين لنقطتي $\overline{ه}$ و $\overline{ا}$ الماديتين
فاذن تكون القوة المبعدة عن المركز الواقعة على كل نقطة مناسبة لبعدها المحور
عن هذه النقطة وهذا في سائر تقترن الأرض حول محورها

وعلى ذلك تكون القوة المبعدة عن المركز كبيرة مهما أمكن في قطبي $\overline{ه}$ و $\overline{ه}$
الموضوعتين على خط الاستواء وهذه القوة يعدم جز من تناقل الأجسام
ثم ان تناقل الأجسام في خط الاستواء يكون صغيرا عما اذا كان
في نقطة ما من قطب الأرض وسيأتي قريبا كيفية تحقيق ذلك بالتجربة

ولنفرض ان برج $\overline{هف}$ يكون مبنيا في نقطة $\overline{ه}$ فإذا رسمنا من نقطة $\overline{و}$
التي هي المركز قوس $\overline{فص}$ ومددنا $\overline{ص س}$ عمودا على $\overline{وف}$
حدث هذا التناسب وهو $\overline{وه} : \overline{وف} :: \overline{هص} : \overline{فص}$
وهذه هي نسبة القوى المماسية

فإذا وقعنا من $\overline{ف}$ التي هي رأس البرج جسما ما فان هذا الجسم يصل
الى أسفل البرج حين يكون الرأس في نقطة $\overline{ص}$ ويكون مدفوعا بالقوة
المماسية التي تجبره على قطع $\overline{فص}$ فاذن يلزم ان هذا الجسم حين يكون
أسفل البرج في نقطة $\overline{ص}$ لا يقع في هذه النقطة قط بل يقع أيضا في نقطة $\overline{ز}$

على بعد $\overline{هز} = \overline{فص}$ ولنوضح ذلك بالأرقام فنقول
ان نصف قطر الأرض في خط الاستواء يساوي ٦٣٧٦٤٦٦ مترا
ولنفرض أنه في إحدى المدن التي على خط الاستواء بنى برج ارتفاعه مائة متر
والمطلوب معرفة فاضل سرعة التقطتين الماديتين الموضوعتين أحدهما

في أسفل البرج والآخرى في رأسه فيكون نصف قطر المحيط المقطوع بأحدى
النقطتين ٦٣٧٦٤٦٦ مترا والمقطوع بالآخرى ٦٣٧٦٥٦٦ مترا
والنسبة المنعكسة لهذين العددين هي نسبة السرعة المتكررة ومما يسهل
ملاحظته ان النقطة العليا تقطع في يوم واحد زيادة عن النقطة السفلى مائة متر
مضروبة في النسبة الحاصلة بين المحيط ونصف القطر ويحدث من ذلك
٦٢٨ مترا وكسور فانا كان هناك جسم ثقيل وخلي لثقله الاصل في محل خال
عن الهواء فانه يهبط مائة متر في خمس ثوان بالابتداء من احدى نقط محيط
خط الاستواء وذلك يساوي $\frac{17280}{36}$ جزأ من اليوم فاذا قسم ٦٢٨ مترا
على ١٧٢٨٠ تحصل معنا الكمية التي يقرب بها اعلى البرج من جهة
المشرق اكثر من قرب اسفله اليه امدة سقوط هذا الجسم وسيأتى ان الجسم
الثقيل لا يقع في أسفل البرج على مستقيم رأسي بل يتحول الى شرفيه بعد قدومه

$$\frac{628}{17280} = 36 \text{ مليمترا تقريبا}$$

وحيث ان مقاومة الهواء تبطل سقوط الاجسام لزم لسقوطها من ١٠٠ متر
اكثر من خمس ثوان فعلى ذلك يتحول الجسم الثقيل عند سقوطه من اعلى البرج
الى جهة شرقي اسفله بعد اكثر من ٣٦ مليمترا وقد دلت التجربة على ذلك
ومتى دار جسم صلب حول محور احدث جميع نقطه في زمن واحد ودورة
كاملة وكانت سرعتها المتكررة مناسبة للمحيطات وبذلك تكون ايضا مناسبة
لانصاف اقطار الدوائر التي تقطعها هذه النقطة

وفي دائرتين مختلفتين يكون مركزهما في مركز التحرك ويكونان حاملتين
مع الانظام اجزاء مادية تكون كمية هذه الاجزاء مناسبة لنصف القطر
فاذن يكون فيهما كمية التحرك (اعني حاصل ضرب الجسم في السرعة)
مناسبة لنصف القطر مضروبا في نصف القطر اعني لمربع نصف القطر
وينتج من ذلك في الآلات التي يستعملون فيها العجلات المحوكة المحتوية على

قضيبين مستديرين عرضهما واحد كقضيبين **ا ب ث** و **ا ر ث**

(شكل ٨) ان كمية التحرك التي بها يدفع القضبان المذكوران عندما يتمان دورانهم في زمن واحد تكون مناسبة لمربع نصف قطر العجلات المذكورة فاذا كانت مجسمات العجلات متساوية كان تدوير الكبيرة اصعب من الصغيرة مثلاً اذا كان $\overline{ا ب ث}$ اكبر من $\overline{ا ر ث}$ ثلاث مرّات وانقل منه ايضاً ثلاث مرّات في اريد تدوير $\overline{ا ب ث}$ دورة كاملة في الزمن الذي يراد فيه تدوير $\overline{ا ر ث}$ لزم لذلك ضرب ثلاث مرّات في نفسها اي تسع مرّات بقدر كمية التحرك فاذا جعلنا $\overline{ا ر ث}$ اقل من الاول بثلاث مرّات بدون أن يكون كبيراً فإنه يكفي أن نضع هذه الكمية ثلاثاً لتبقى السرعة على حالها فتكون الكمية المذكورة اصغر من الكمية التي تدفع $\overline{ا ب ث}$ لان هذه القوة اكبر منها تسع مرّات

وبناء على ذلك اذا كان المطلوب حصر كمية عظيمة من التحرك في مجسم مادي معلوم فالاصوب تقسيم هذه المادّة على محيط كبير القطر ومن المهم في كثير من الاّلات حصر كمية عظيمة مهما امكن من التحرك في مجسم لا يؤثر بثقله على نقط الارتكاز كثيراً فهذه الواسطة اذا عرض خلل او حدث عارض من عدم تساوي التحركات ونشأ عنه اسراع او بطئ مضر فإن العجلة المدفوعة بتحرك دوران ثابت ~~تكتسب~~ او ينعدم منها كمية من التحرك كبيرة بالكفاية من غير أن تتغير سرعتها كثيراً والذي اقوله ان العجلة المذكورة تكون بمنزلة المحافظ او المنظم الذي يؤثر غالباً بتأثيرات نافعة ويطلق على محافظ القوى اسم الطيارات

وعوضاً عن أن نجعل المحافظ على صورة قضيب متواصل مثل $\overline{ا ب ث}$ (شكل ٨) فنحصر غالباً المادّة المطلوب توزيعها على قضيب $\overline{ا ب ث}$ في ثلاث نقاط او اربعة متساوية البعد عن بعضها كنقط $\overline{ا ب ث}$ (شكل ٩) او $\overline{ا ب و ث}$ و $\overline{ا ب و د}$ (شكل ١٠) وحينئذ يكون لهذه المادّة التي على بعد متوسط من مركز الدوران كمية واحدة من التحرك بالنسبة لسرعتها الثابتة

ولنبرهن على ان نقطة ω التي هي مركز دوران الطيارات تكون مركز
 ثقلها ايضا فنقول ان المجلة بدون ذلك تكون دائما مجذوبة من جهة
 اكثر من الاخرى فلا يكون محور كها منتظما ولا منتسقا فلا بد لحصول النفع
 من تحقق هذا الشرط وهو ان نأخذ مركز الطائرة ونجعل مركز ثقلها
 الاتصال التي تستخدمها تلك الطائرة فهذه هي القاعدة التي جرى بها العمل
 في (شكل ٩) و (شكل ١٠)

واما الدعوى النظرية التي سنذكرها فلا بد منها الصانع السفن
 والساعاتية وصناع الآلات غير أنه في كثير من المدن يجهز العملة عن اتباعها
 فيجوز للمعلم أن يضرب عنها صفحا

وهذه الدعوى هي التي يبرهن بها في الاجسام الصلبة التي تدور حول المحور
 كما تقدم في الكرة الارضية على ان القوة المبعدة عن المركز تكون مناسبة
 لبعده المحور عن كل نقطة مادية

وانك تفرض ان مستوى شكل ١٢ يكون عموديا على هذا المحور المبين

بنقطة ω ولتكن النقط المادية المتساوية في الجسم وهي m و m' الخ و m''

و m''' الخ هي التي يتركب منها جسم ω فتكون ابعاد ω

و m الخ و m' و m'' الخ مناسبة للقوى المبعدة عن المركز وربما كانت
 دالة عليها

ولنفرض ان مركز الثقل يكون على محور ω ونعاودة m

و m' الخ و m'' و m''' الخ على مستقيم كستقيم s و s' الخ

المجول محورا لنقادر اقال m و m' الخ و m'' و m''' الخ فيحصل

اولا $m \times \omega + m' \times \omega' + \dots = m \times \omega + m' \times \omega' + \dots$

ونانيا $m \times \omega + m' \times \omega' + \dots = m \times \omega + m' \times \omega' + \dots$

اعني انه يكون لقوى ω و m و m' و m'' و m''' الخ

المبعدة عن المركز المقسومة قسمًا عموديا على مستقيم $\overline{س غ ص}$
 وقسمًا موازيا له محصلة معدومة على أي اتجاه تقسم عليه هذه القوى
 بالتوازي لمستوى الشكل وحيث لا تكون محصلة القوى المذكورة الموازية
 لهذا المستوى جاذبة المحور المار بمركز ثقل الجسم إلى جهة أكثر
 من الأخرى

ولنفرض الآن أن مركز الدوران وهو $\overline{غ}$ يكون في بعد $\overline{غ غ}$ من مركز
 ثقل $\overline{غ}$ على محور $\overline{س غ ص}$ الموازي لمحور $\overline{س غ ص}$ فتكون
 محصلة قوى $\overline{غ م}$ و $\overline{غ م}$ الخ و $\overline{غ م}$ الخ الخ الجديدة المبعدة عن المركز
 المقسومة بالتوازي إلى $\overline{غ غ}$ هي

$\overline{م} \times \overline{م} + \overline{م} \times \overline{م} + \dots - \overline{م} \times \overline{م} - \overline{م} \times \overline{م} - \overline{م} \times \overline{م} \text{ الخ}$
 ولا تتغير هذه المحصلة إذا طرحت منها مقدار $\overline{م} \times \overline{م} + \overline{م} \times \overline{م} + \dots$
 وكذلك لا تتغير إذا زدنا عليها مقدار $\overline{م} \times \overline{م} + \overline{م} \times \overline{م} + \dots$
 المساوي لغيراته ينبغي التنبيه على أن $\overline{م} - \overline{م} = \overline{م} - \overline{م}$
 $\dots = \overline{م} - \overline{م} = \overline{م} - \overline{م} = \overline{م} - \overline{م} \dots$
 فإذا كان ما نتحصل من الجمع والطرح المقروضين هو مجموع مجسمات

$\overline{م} + \overline{م} + \dots + \overline{م} + \overline{م} \dots$ مضروباً في $\overline{غ غ}$
 فعلى ذلك إذا دار جسم حول محور مبع $\overline{غ ص}$ الذي لا يمر أصلاً بمركز ثقله
 وهو $\overline{غ}$ فإن محصلة القوى المبعدة عن المركز تتزايد بالنسبة لبعده المحور
 عن المركز وتكون باقية على حالة واحدة إذا فرضنا أن سائر أجزاء الجسم تكون
 كثيفة في مركز $\overline{غ}$
 فإن تأثير القوة المبعدة عن المركز يكاد يتقل المحور عن موضعه ويجذبه دائماً

الى جهة مركز الثقل وهذا ضرر ينبغي اجتنابه في اغلب آلات الدوران لاسيما في الآلات التي تستعمل فيها الطيارات ومن هنا القاعدة المطردة وهي انه يلزم أن يكون مركز ثقل الطيارة موجودا على محور الدوران ولنتعبر ان تأثير القوى المبعدة عن المركز يقوم بالتوازي للمحور ولنفرض (شكل ١٢) ان مستوى الشكل يكون مستويا للمحور

ونرمز الى هذا المحور بخط $س غ ص$ مع جعل نقطة $غ$ مركز ثقل الجسم ثم قطع الجسم بمستويات عديدة مثل $م د$ و $م د$ و $م د$ الخ عمودية على المحور وليكن على مستوى الشكل قط $م$ و $م$ و $م$ الخ دالة على مساقط مراكز ثقل النقاط المادية المحصورة في كل مستوي تكون محصلة سائر القوى المبعدة عن المركز مبينة بمحصوله قوى $م د \times م$ و $م د \times م$

و $م د \times م$ الخ ثم انه يلزم لاجل تعيين محصلة هذه القوى تحصيل $ح$ التي هي محصلة القوى الموضوعة في احدى جهتي المحور وتحصيل $خ$ التي هي محصلة القوى الموضوعة في الجهة الاخرى منه فاذا كانت قوتا

$ح$ و $خ$ موجودتين على عمود واحد على المحور وكان هذا المحور مازا بمركز ثقل الجسم فان هاتين القوتين يكونان بالضرورة متوازيتين وبناء على ذلك لا يمكن أن يتحرك المحور في جهة ما بتأثير القوى المبعدة عن المركز لكن

كفي شكل ١٢ اذا كان عمودا $ح$ و $خ$ المتدان على محور

$س غ ص$ لا يتسبان لتسيم واحد فان المحور يكون مجبوراً على الدوران

بتأثير قوتي $ح$ و $خ$ المضروبتين على امتناظر في بعدي $غ ح$ و $غ خ$

و يتحدد مقدارا $ح$ و $خ$ بالنسبة لمركز ثقل $غ$ بضرب قوة $م$

$م د \times م$ في $غ د$ وقوة $م د \times م$ في $غ د$ وقوة $م د \times م$ في $غ د$

في $غ د$ وهلم جرا ثم ينظر هل مجموع مقادير القوى المؤثرة في جهة

مساو لمجموع مقادير القوى المؤثرة في الجهة المقابلة لها ام لا
وقد يبرهن بطرق حساسية لاحاجة الى ذكرها هنا على ان مساواة المقادير
الاعتيادية شرط لا بد منه في جعل مقدار ان يرمى الجسم المأخوذ بالنسبة لمحور

س غ ص نهاية كبرى او صغرى

واذا اريد أن محور الطيارات ومساو المحاور المستعملة في آلات الدوران لا يقع
عليها من تأثير القوى المبعدة عن المركز ضغط في اى جهة كانت لزم تنظيمها بحيث

تكون قوتا ح و خ موضوعتين دائماً على مستقيم واحد عمود على
المحور في الزمن الذي يكون فيه هذا المحور مارة بمركز الثقل

وما يكون للحاور المستوفية لهذا الشرط من عظيم النفع في تحريك الآلات
يؤيد تسميتها بالمحاور الاصلية

وبعد تعيين الاتجاه الكثير الفائدة الملائم لمحور الطيارات يلزم معرفة السرعة
التي تكون للطيارات عندما يستعمل في تحريكها قوة معينة ويكون حجمها
وحجمها معينين ايضا

ولاجل مزيد السهولة تعرض أن محور الدوران عمود على مستوى شكل ١١
وليكن مينا نقطة و فيدور الجسم حول هذا المحور بواسطة قوة

ف ف على بعد و ف الذي هو بعد المحور المذكور ولنفرض ف ف
في مستوى الشكل المتقدم

فيكون الجهد او مقدار ف ف المعد لتدوير المحور مينا بكمية
ف ف x و ف

وتكون السرعة المتزوية وهي آ التي يأخذها الجسم هي القوس المقطوع
مدة وحدة الزمن على الدائرة التي يكون نصف قطرها مأخوذا وحدة لها
نقطع م التي هي النقطة المادية من الجسم في مدة وحدة الزمن قوس م

$$\overline{A} \times \overline{M} =$$

فتكون \overline{M} التي هي كمية التحرك حيث ندهي $\overline{M} \times \overline{A} \times \overline{M}$ وتكون
الكمية الكلية للتحرك قط الجسم وهي $\overline{M} \times \overline{M} \times \overline{M}$

$$\overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} + \dots \}$$

ولاجل قياس التأثير الحاصل من كل عنصر بواسطة كمية التحرك المذكورة

لاجل تدوير المحور يلزم تحويل سائر قط \overline{M} و \overline{M} الخ الى مستقيم
فـ \overline{O} من احدى جهتي المحور بدون أن يتغير بعدها عن هذا المحور وعلى ذلك
فسائر القوى المماسية التي تدفع \overline{M} و \overline{M} و \overline{M} الخ وهي القوى
المدلول عليها بكميات التحرك المتحصلة معنا سابقا تكون متوازية
ومتجهة الى جهة واحدة وتكون محصلتها هي \overline{R} بموجب قاعدة مقادير
القوى معلومة من ضرب كل قوة في بعدها عن المحور فاذن يكون

$$\overline{R} \times \overline{O} = \overline{A} \times \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} \times \overline{M} + \dots$$

او يكون على سبيل الاختصار

$$\overline{R} \times \overline{O} = \overline{A} \times \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} \times \overline{M} + \overline{M} \times \overline{M} \times \overline{M} + \dots$$

وتكون قوة \overline{R} باقية على حالتها وكلما تزايد مجموع $\overline{M} \times \overline{M}$

+ $\overline{M} \times \overline{M}$ + \dots تناقصت سرعة \overline{A} المنزوية وبالعكس

اي كلما تناقص هذا المجموع تزايدت سرعة \overline{A} المنزوية وبناء على ذلك

يكون المجموع المذكور دالا على مقاومة الجسم للتحرك الدوراني

بواسطة الا ينسب متى اثرن في هذا الجسم قوة معلومة ومن ثم قيل لهذا

المجموع مقدار الا ينسب فاذن يكون مقدار الا ينسب لنقطة مادية هو

محصلها وهو \overline{M} مضروبا في مربع بعدها عن محور الدوران ويكون

مقدار الاينرمى لجسم ما مساويا لمجموع مقادير اينرمى كل جزء من اجزائه الصغيرة جدا وبالجملة فالسرعة المنزوية التي يأخذها الجسم بواسطة قوة ما حول محوره تساوى المقدار البسيط لهذه القوة مقسوما على مقدار اينرمى الجسم وهذه هي السرعة التي قوتها

ولمقادير الاينرمى خواص مهمة جدا في علم الميكانيكا لا يمكن ذكرها هنا لان ذلك يستدعي معارف عالية ولن فرض نقطتين ماديتين كنقطتي

م و م' (شكل ١٢) يكون مركز ثقلهما في نقطة غ ونديرهما

حول محور غ س ص العمودى على م م' غ م فيكون مجموع مقادير اينرمى م و م' هو

م × غ م' + م' × غ م وليكن الآن محور م م' موازيا لمحور س غ ص فيكون مقدار الاينرمى بالنسبة لهذا المحور الجديد هو

م × غ م' + م' × غ م فيكون فاضل هذين المقدارين هو

م × غ غ + م' × غ غ اعنى مربع غ غ الذى هو بعد المحور عن مركز الثقل مضروبا في مجموع مجسمي م و م'

وليست هذه الخاصية مقصورة على نقطتين ماديتين بل تجرى ايضا في كثير من النقط التي يتركب منها الجسم الذى يمكن أن يكون له صورة ومجسم

حيثما اتفق وعلى ذلك فمقدار الاينرمى في اتجاه س غ ص المقروض

لمحور الدوران يكون صغيرا مهما امكن متى كان هذا المحور مازا بنقطة غ التي هي مركز ثقل الجسم فاذا لم يكن مازا بمركز الثقل المذكور فان مقدار

الايرسى يزداد بكمية مساوية لجسم الجسم مضروباً في مربع بعد المحور
 عن مركز ثقل الجسم ولنجعل $\overline{م ك}$ مقدار ايرسى الجسم الذى
 مجسمه $\overline{م}$ عندما يكون المحور مازاً بمركز الثقل فيكون $\overline{ك}$ دالاً على
 طول معلوم فانا رمز بجرف $\overline{ك}$ الى بعد مركز الثقل عن اى محور دوران
 كان مقدار الايرسى بالنسبة لهذا المحور $\overline{م} \times (\overline{د} + \overline{ك})$
 وهو مقدار يسهل حسابه بمجرد معرفة مقدار الايرسى المعين بالنسبة
 لمستقيم مواز للمحور وممتد من مركز الثقل
 ويكون بالبداية مقدار ايرسى سائر المحاور الموازية لاتجاه معلوم
 والموجودة كلها على بعد واحد من مركز الثقل كبعد $\overline{ك}$ هو

$$\overline{م} (\overline{د} + \overline{ك})$$

ويمكن أن تقابل بين مقادير ايرسى الجسم المأخوذة بالنسبة لمحاور متنوعة
 مازة بمركز الثقل فتقول يوجد في هذه المحاور محور مقدار ايرسيه اصغر
 من مقادير ايرسى ما عداها من المحاور ولا مانع من تسميته بمحور الايرسى
 الصغير وهناك محور ثان عودى على هذا المحور مازاً بمركز الثقل مقدار ايرسيه
 كبير منهما امكن ولا مانع من تسميته بمحور الايرسى الكبير وثم ايضا
 محور ثالث عودى على الاثنين السابقين لا مانع من تسميته بالمحور المتوسط
 تكون له هذه الخاصية وهى ان مقدار ايرسيه يكون في جهة $\overline{ك}$ كبيراً
 مهما امكن وفي الاخرى صغيراً مهما امكن وهذا بالنسبة للمحورين
 المعتدلين أولاً فى المستوى الحاصل بين هذا المحور الثالث ومحور الايرسى
 الصغير وثانياً فى المستوى الحاصل بين المحور الثالث ومحور الايرسى
 الكبير وهذه المحاور الثلاثة الشهيرة هى المعروفة بالمحاور الاصلية للاجسام
 وهى التى لوحظ من اجلها فيما سبق انه فى اى جهة تكون موازية لمحور
 الجسم او عودية عليه لا تكون القوى المبعدة عن المركز مؤثرة تأثيراً يتغير به
 وضع المحاور المذكورة

وينتج من ذلك ان الجسم المتحرك دفعة واحدة حول احد محوري دورانه الاصليين يكون ملازما دائما للتحرك حول هذا المحور اذ ليس هنالك قوة مبعدة عن المركز تؤثر في جهة ما حتى يتصرف وضع الجسم بالنسبة للصورة المذكور ويؤخذ من ذلك في آلات الدوران التي يلزم أن يكون محورها ثابتا ان احد محاورها لا يزسى الاصلية يكون محور دوران للاجزاء الدائرة فاذا كان الجسم الذي كذاقته واحدة في سائر اجزائه منتهيا بسطح دوران وكان هذا الجسم متماثلا بالنسبة لمحور السطح المذكور ظهر لك بالسهولة عند تدوير الجسم حول هذا المحور ان القوى المبعدة عن المركز لا يحصل منها تأثير يغير وضع محور الدوران وحيث قد يكون هذا المحور من محاور الجسم الاصلية

وسيا في عند ذكر آلات الدوران التي هي البكر والمصنيق والمعطاف ونحوها انه يلزم أن يكون للاجزاء المتحركة صورة سطح دوران يكون محوره محور الدوران اجتنابا لما لا فائدة لهم من تأثير القوى المبعدة عن المركز ثم ان قطب جميع الاجسام التي لها محور تماثل تكون موضوعة مثنى في بعد واحد من المحور على العمود النازل عليه فاذا ادير الجسم حول محور تماثله فان كل قطبين موضوعين بهذه المثابة يكونان مدفوعين بقوتين مبعدين عن المركز متساويتين ومتضادتين فاذن تكون هذه القوى معدومة لبعضها مثنى ولا يحدث عنها تأثير ما على المحور وبناء على ذلك كلما دار جسم حول محور تماثله لم أن يستقر على تحركه حول هذا المحور اذا خلى وقسه وهذا هو تأثير تحرك الدقامة وما شا كها عماد دور حول محور تماثله الموضوع وضعا رأسيا وتستمر الدقامة على التحرك مع الانتظام بعد أن تدفع دفعة اولية بواسطة جبل او نحوه او بإدارة اسفلها بالاقدام والسبابية ثم تخلى وقسها

وقد بينا سابقا على أن النجفات تكون متماثلة بالنسبة لمحور الرأسي المار بنقط تعليةها وهذا يمكن دورانها بلا معارض حول هذا المحور بدون

أن تميل الى جهة أكثر من أخرى وهذا التأثير يمكن مشاهدته في البضات
لا سيما اذا كانت معلقة في قباب مرتفعة

وفي آلات الدوران وهي الخيول او الكرسي المصنوعة من الخشب تكون تلك
الخيول او الكرسي المعدة لركوب الأشخاص الذين يلعبون لعبة الخاتم
موضوعة بالتماثل حول محور الدوران الرأسي وبناء على ذلك اذا حركت
هذه الآلات فانها تستمر على تحركها بدون أن يحصل من اينرسيا جهد
من كلا جهتي المحور

وقد تنقل قوة m مع سرعة v جسم m المقروض انه لامعارض له
تقلا مستقيما فاذا وقعنا قوة m المذكورة على جسم m المقروض
انه ثابت بالمحور وكانت L هي بعد القوة عن هذا المحور يلزم أن m و L
وهو مقدار القوة بالنسبة للصورة يكون مساويا $m(L + L') = A$
مضروبا في مقدار اينرسي الجسم بالنسبة للصورة

واذا فرضنا ان الجسم موضوع على وجه بحيث يدور حول محوره بدون
أن يقع عليه ضغط في جهة ما فان هذا الجسم يتحرك كالكوكب لامعارض له
ويكون لمركز ثقله سرعة تساوي v وهي مينة بنقط DA فاذا كان يكون
 $v = DA$ و m و $L = m DA = A$ $(L + L')$
وينتج من ذلك أن

$$DA = L + L' + L'' + L''' + L'''' + L'''''$$

ويطلق مركز الدوران على نقطة من تقاطع امتداد اقصر بعد من المحور

عن مركز الثقل في $\frac{L}{D}$ تكون على بعد $D + \frac{L}{D}$

من مركز الثقل عن المحور ومتى أثرت قوة في هذه النقطة تأثيرا عموديا على
هذا المستقيم أي المحور فانها تدبر الجسم بدون أن تدفع المحور الى جهة ما

فان تكون القوة المساوية والمقابلة لها معدمة لقوة الدوران الحادثة
عن القوة الاولى بدون أن يحصل منها دنى ضغط على المحور وهذه هي خاصية
مركز الدوران وايمكن $\frac{K}{S} = \frac{K}{S} = \frac{K}{S}$ فينتج أن $\frac{K}{S} = \frac{K}{S} = \frac{K}{S}$ و $\frac{K}{S} = \frac{K}{S} = \frac{K}{S}$
ويعلم من ذلك أنه يمكن نقل المحور بالتوازي لنفسه حتى يمر بمركز الدوران
وحينئذ ينقل مركز الدوران الى الطرف الآخر من K على المحور القديم
وفي هذا النقل المنعكس فائدة جلية

(بيان البندول)

اذا ربطنا في طرف خيط رقيق خفيف جداً جسماً ثقيلاً لكنه صغير الحجم
ككلمة من حديد او رصاص او بلاتين (وهو الذهب الايض) وربطنا
طرفه الاخر في نقطة ثابتة كان للكلمة في حالة السكون وضع يكون فيه الخط
وأسيا ويكون مركز ثقلها في الاتجاه الرأسي للخط المذكور وهذا هو
البندول المعروف ايضا بالشاقول (راجع الدرس الرابع من هذا الجزء
شكل ١٨ مكرر) ثم ان اهمية الشاقول المتمركز والشاقول الساكن
واحدة في الاستعمال فاذا ابعدنا الشاقول عن الخط الرأسي كان ثابتاً
في نقطة θ وعمداً ومما ينبغي التنبيه عليه انه اذا خلى الجسم وقسه
وقطع النظر عن المقادير المتنوعة ياخذ ثقل θ (شكل ١٣)
في الهبوط بسرعة غير محسوسة تزيد شيئاً فشيئاً عندما يقرب هذا الثقل
لما ينقطع θ و θ و θ الخ من خط θ الرأسي فانا وصل الى
هذا الخط المستمر على سير وارفع من θ و θ و θ الى θ اعني يكون
في ارتفاع نقطة θ ومتى وصل الى هذا الحد اخذ في الهبوط ثانية من θ الى θ الخ
كلهبط من θ ثم يرتفع ثانية الى θ كما ارتفع الى θ ثم يقف
في نقطة θ ليهبط كل مرة الاولى وهكذا بالتوالي الى ما لانهاية
ويمكن بتواعد الميكانيكا اثبات قوانين التمرکز المتعدد المعروف بقانون الارتجاج

ويطلق اسم البندول على الشاقول اذا استعمل لاحداث رجات بدلا عن استعماله للدلالة على الخط الرأسى

وفي كل لحظة من هبوط البندول بالابتداء من \bar{A} الى \bar{O} يحدث من جذب الارض دفعة جديدة لهذا البندول ليقترب من مركز الارض وبالتحديد هذا الجذب مع القوة المماسية المكتسبة تحدث بحلة شديدة لاحد لها بدون تأثير خيط \bar{AO} الذى يحدث منه تأثير قوة مركزية

ولترمز بخط \bar{AG} (شكل ١٤) الى تأثير التناقل وبمستقيم \bar{AS} الى القوة المماسية المكتسبة من الشاقول عند وصوله الى \bar{A} ولكن \bar{AG} رمز الى القوة المركزية فيحصل معنا اولان $\bar{AG} = \bar{AS}$ وثانيا ان

قوى \bar{AG} و \bar{AS} يقضيان مع قوة \bar{AO} المماسية بأن نسط \bar{AG} على \bar{AG} من محاس الدائرة في نقطة \bar{A} ثم نضيف هذا المسقط وهو \bar{AG} الى \bar{AS} اذا كان البندول هابطا او نطرحه منه اذا كان صاعدا ثانيا وحيث تحدث معنا القوة المماسية عقب الزمن الذى يكون فيه البندول معدا لقطع قوس يساوى \bar{AS}

وهذا يؤدى الى اتساع صعود البندول في ازمنة واحدة ونطرح الكميات التى اضفناها الى القوة المبعدة عن المركز وحيث نقتضى كون هذه القوة عند الهبوط والصعود واحدة في النقط التى على بعد واحد من النقطة المنخفضة عنها وينبى على ذلك أن هذه القوة اذا انعدمت من جهة انعدمت من الجهة الاخرى في ارتفاع واحد

وعلى ذلك فالنظريات تثبت ما دلت عليه التجربة من تساوى صعود البندول وهبوطه وتماثلهما

وهناك خاصية اخرى عظيمة جدا تتعلق بالبندول وهى ان المدة الكلية للرجتين الصغيرتين تكون واحدة تقريبا وان كان القوس المقطوع في احدى

هاتين الرجتين ضعف القوس المقطوع في الرجة الاخرى مثني اوثلاث ارباع
وهكذا مهما كانت نسبة القوسين المقطوعين

ولاجل البرهنة على هذه الخاصية قرض $\text{بندولين كيندولي شأ}$ و شأ
متساويين (شكل ١٥) و (شكل ١٦) مختلفي البعد من المستقيم

الرأسي في مبداء الرجة وليكن تأثير التثاقل الممين في هذين الشكلين برمز أغ

$=$ أغ حاصل واحد في المدة الاولى فاذا اسقطنا أغ في أغ على

قوس أق و أغ في أغ على قوس ان كل أغ و أغ
هما القوتان المماستان

ولتخذ خطي اص و اصه الاقيين الى خطي شق و شق

الرأسيين فاذا فرضنا ان مثلث أغ صغير جدًا وامكن جعل قوس

أغ عمودا على أغ وكذلك على شأ فان مثلثي اثص

و أغ القائمي الزاوية يكونان متشابهين حيث ان ضلعيهما المتقابلين
عمودان على بعضهما

وقد يبرهن بمثل ما تقدم (شكل ١٦) على ان مثلثي اثصه و أغ

القائمي الزاوية يكونان متشابهين فاذن يحدث هذان التناسبان وهما

$$\text{اث} : \text{أغ} :: \text{اص} : \text{أغ}$$

$$\text{اث} : \text{أغ} :: \text{اصه} : \text{أغ}$$

لكن حيث ان اث و اث متساويان وكذلك أغ و أغ فانه يحدث

$$\text{ايضا هذا التناسب وهو اص} : \text{أغ} :: \text{اصه} : \text{أغ}$$

فاذا فرضنا الآن ان الرجة تكون قليلة الامتداد جدا فان الفاضل بين
اص وقوس اق يكاد يكون معدوما وكذلك فاضل اصه وقوس
ان وعلى ذلك تكون المسافة المقطوعة في الوقت الاول مناسبة تقريبا
 لامتداد قوسى اق و ان

و يبرهن ايضا بوجه تقريبي على ان السرعة المماسية تزداد عقب الوقت الثانى
 والثالث والرابع والخامس وبناء على ذلك تكون المسافة التى يقطعها البندول
 الاول والثانى في كل من هذه الاوقات مناسبة للقسمى المعدة لسير البندول
 وعلى ذلك متى كانت المسافة الباقية التى لم يقطعها البندول الاول معدومة
 كانت المسافة الباقية التى لم يقطعها البندول الثانى معدومة ايضا وحيث
 يصل البندولان في زمن واحد الى اعظم رجة فاذن يكون للرجات مدة واحدة
 اذا قطع النظر عن التفاضلات الصغيرة جدا

و يكون لهذه الخاصية الاخير منفعة عظيمة في القنون وعلوم الرصد في حالة
 ما اذا تحرك البندول وخلي وقسمه وعارضت مقاومة الهواء جميع حركاته
 وابطأتها بالتدريج وبذلك تنقص مسافة الرجات لكن لم تزل مدتها واحدة
 فاذا كان البندول ثقيلًا جدًا كالرصاص او البلاطين كانت المقاومة التى
 تعرض لهذا الجسم ضعيفة لا تغير مدة رجاته الا تغييرا قليلا فيكون معظم
 هذه الرجات باقيا تقريبا على مدته الاصلية غير ان تكرر الرجات المستمر المعرض
 لمقاومات الهواء الصغيرة ينقص بالتدريج مسافة الرجات ومع ذلك كله
 تكون تلك الرجات متساوية تقريبا وزيادة على ذلك ينقص الفاضل الصغير
 الموجود بين المدد المتتالية بحسب مخالفة هذه الرجات للرجة الاصلية
 ثم ان الاجسام تكون سريعة الوقوع اذا كان مبدء وقوعها من نقط قريبة
 من مركز الارض وقد علم مما سبق ان المسافتين الرأسيتين اللتين يقطعهما الجسمان
 الخليان وانفسهما للتناقل بدون معارض تكونان على نسبة منعكسة من
 مربعي بعديهما عن مركز الارض

وعلى ذلك متى كانت اطوال البندولين على نسبة منعكسة من مربع بعد
البندول عن مركز الارض فان رجات هذين البندولين تكون حاصلة في زمن
واحد

وقد دلت الارصاد الفلكية وقياس الارض دلالة هندسية على أن الكرة
الارضية مسطحة من جهة القطبين لان سكان الارض اذا قربوا من القطب
قربوا ايضا من مركز الارض وبموجب ذلك اذا كان الانسان في جهة
القطب فانه يرى البندولين اللذين تحدث رجاتهما في زمن واحد اطول
عما اذا رآهما وهو في خط الاستواء فحينئذ اذا كان مبدء السير من خط
الاستواء لزم ان البندول يتزايد بالتدريج كلما قرب الانسان من القطب
لتكون مدة الرجات واحدة وزيادة على ذلك يكون طول البندول ميّنا
في كل مكان لبعدهمركز الارض عن النقطة التي يدق فيها ذلك البندول

وبدوران الارض ينعدم من تتاثر الاجسام جزء صغير لتعادل قواها
المبعدة عن المركز وتثبت تلك الاجسام على سطح الكرة وهذه القوة التي
لا وجود لها في القطب تبلغ نهايتها الكبرى في خط الاستواء

وبلا حيلة سببي التغير معانعلم مطابقة العلم التجربة ولله در المهندس بوردا فانه
لمهارته اخترع بندولا منتظما بواسطته يحصل مع غاية الضبط قياس
ابعاد مركز الارض عن نقط سطحها التي يتألف منها الخط الجانبي
الذي ينبغي على قياسه الطريقة المترية ثم ان ما وقع بين النتائج الحادثة
في موضوعنا هنا من على الهندسة والميكانيكا من غريب التوافق والاتحاد
هو من اعظم الشواهد على ما للعلم من القوة من حيث الاستعانة بمضاها
على فهم غوامض البعض الآخر من حيث انه يتوصل بها الى صحة الظنات
التي لا يخلو عنها كل علم وتظمها في سلك الطرق المتحد المآل التي لا يوجد فيها
الخطأ الا نادرا بحيث تكون مثلها في القطع بعمتها

وعوضا عن أن نقرض أن تتاثر بتغير فرض أن طول خيط التعليق هو الذي
يتغير ونفرض بندولين غير متساويين كـ بندولي ثا و ثا

(شكل ١٧ و ١٨) فيحدث هذا التناسب وهو

اث : اث :: م : ١

فاذا كان زيادة على ذلك نسبة قوس اق : قوس ان :: م : ١

كل شكلا اثق و انن متساويين

ولكن اغ هي المسافة التي تقطعها في زمن ط = ١ بواسطة

التناقل نقطة ا المادية الفروض انه لا معارض لها وليكن اغ = م

× اغ فيكون اغ حيث ندالا على المسافة التي يغير تأثير التناقل جسم ا

المفروض انه لا معارض له على قطعها في اوقات عدد م (وحرف م يدل على عدد غير محدود)

ولنسط اع في اغ و اغ في اغ فيحدث من مثلث اغغ

و اغغ المتساويين هذا التناسب وهو

اث : اث :: اغ : اغ :: اغ : اق : ان

وعلى ذلك فساقتا اغ و اغ اللتان قطعهما الپندولان بواسطة تأثير

التناقل المكرر في زمن م بالنسبة للپندول الاول وزمن ا بالنسبة

للثاني تكونان مناسبين لقوسى اق و ان فيتحرك الپندولان

بالتناسب على قوسى اق و ان بحيث تكون ا زمنا الپندول الاول م

حين تكون ا زمنا الثاني ا فاذا تكون نسبة الزمنين الكليين اللذين

استغرقهما الپندولان في الوصول من اعلى نقطة الى الخط الرأسى الى بعضهما

كنسبة م : ا متى كانت نسبة طول الپندول الى بعضهما :: م : ١

يعنى انه في الحمل الواحد من الارض تكون اطوال الپندولين غير المتساويين

مناسبة لمربى الزمنين اللذين استغرقهما هذان الپندولان في احداث رجاءهما

وأول من عرف قانون تحرك البندولات هو المهندس الشهير غاليليه صاحب الاستكشافات اللطيفة في ميكانيكا المتأخرين وقد أجرى في ذلك عملية عظيمة تتعلق بقياس ارتفاع القباب والقبوات

وقد جرت العادة بأنه يعلق في الهيكل والسرايات بأعلى نقطة من القباب والقبوات نبجات ذات ثقل عظيم بالنسبة للجيل أو السلسلة المعلقة هي بها ويمكن في أحداث ارتفاع هذه البندولات العظيمة ادنى شيء من الهواء وقد لاحظ المهندس غاليليه مدة هذه الارتجاجات فرأى أن المدة التي يرتج فيها بندول النخفة الواحدة عشر مرات مثلاً لا يرتج فيها غيره إلا مرة واحدة وحيث أن مربع العشرة أي عشرة مضروبة في مثلها يساوي مائة يكون البندول الأول أطول من الثاني مائة مرة فإذا كان طول البندول الصغير معلوماً فإنه يحدث بأخذه مائة مرة طول البندول الكبير وبذلك يعلم الارتفاع الذي يكون لمفتاح القبة والقبوة فوق النخفة التي لقربها من الأرض يسهل قياس ارتفاعها وعلى ذلك يمكن استعمال البندول في قياس الزمن بواسطة تساوي مدة رجائه الصغيرة ويمكن استعماله أيضاً في قياس الارتفاعات بواسطة زيادة تلك المدة أو نقصانها

وقد عرف طول البندول الذي يذب التوائى السقينية برصدخانه مدينة باريس معرفة صحيحة فكان مقداره من الامتار ٩٩٣٨٢٦٧ و ٢ فعلى ذلك لو انعدمت اصول الاقيسة القرنساقية بمجاهدة من حوادث الزمان وتقلبات الدهر حتى صارت خفية على العقول لا يمكن معرفة طول المتر بمجرد النظر الى البندول الذي يذب التوائى بمدينة باريس

ولو عرف الرومان واليونان مثل هذه الطرق الناشئة من العلوم لبقيت جميع اقيستهم عندها الى الآن ولم يبق من المسائل التي لا بد منها في العلوم والفنون والحرف مسألة بلا حل وبيان

ولنطلب في الكلام على هذا الامر المهم الخاص بالعلوم التي بها يتوصل

الذي ضبط اشغال الانسان وان كان الزمن متقلبا غير مضبوط وبسببها تنشط الارصاد والاشغال الوقفية بحركة الزمن المستمرة وقطع المسافات الارضية التي لا تتغير وبذلك تحقق ثمرات مشروعات الانسان ويقتل ذلك ذكره على عمر الازمان فتقول

ان الساعاتية اخترعوا امر ابداعيا يتعلق بالپندول وهو صناعة الاكالات الدالة على الزمن المعروفة بالپندولات

ولنفرض دائرة معدنية محذبة من جهة المركز على هيئة العدسة فلذا سميت بالعدسة وتعلقها في قضيب يكون متجها الى مركزها فاذا حركت حول الطرف الاخر من القضيب المذكور حدث من ذلك پندول كالذي يستعمله الساعاتية

وكل رجة من رجات هذا الپندول الحاصلة في ازمة متساوية المواظقة للسير الثابت الپندول والساعة الدافقة تكون بمنزلة المحافظ للقوى والمنظم لها ولا تكون هذا المالاكة مضبوطة الا اذا كانت لا تتغير بابعاد المادة التي تتركب هي منها حيث ان القضيب المعد لتعليق العدسة يمتد بواسطة تأثير الحرارة ويتكسب بواسطة تأثير البرودة وبذلك تكاد مدة رجات الپندول تتغير دائما وقد صنعوا پندولات تعديل وهي پندولات تعادل فيها تغيرات اطوال الاجزاء المتنوعة المركبة لها

وقد نيز انه كلما زادت الحرارة امتدت قضبان النحاس بنسبة معلومة اكثر من قضبان الحديد وكلما قصت الحرارة انكمشت تلك القضبان بنسبة معلومة اكثر منها ايضا وبموجب ذلك استعملوا للتعليق عوضا عن قضيب واحد عدة قضبان بعضها من الحديد وبعضها من النحاس

ولنفرض قضيبا من الحديد كقضيب أ ب (شكل ١٩) فجعل في نهايته السفلى عارضة اقنية كعارضة ش د عليها قضبان رأسيان من النحاس كقضبي ش هـ و د ف وعارضة اخرى اقنية بمنتصفها طوق يمر منه قضيب أ ب فيجمع بين قضبي النحاس المذكورين ويكون

في قطبي $\overline{ك}$ و $\overline{ل}$ اللتين هما نهايتا العارضة المذكورة قضيان
من حديد قضبي $\overline{كسم}$ و $\overline{لن}$ مجتمعان معا بواسطة عارضة
 $\overline{من}$ ومثبتان في عدسة $\overline{و}$ فيقتد يعلم ان ازدياد الحرارة في هذه الحالة
على قضبي الحديد وهما $\overline{اب}$ و $\overline{كسم}$ اللذين على ارتفاع $\overline{اے}$
الحقيقي يزيد تباعد نقطة التعليق وهي $\overline{ا}$ عن مركز العدسة زيادة مناسبة
لارتفاع $\overline{اے}$ المذكور وأن قضبي النحاس وهما $\overline{ثه}$ و $\overline{دف}$
عند امتدادهما بواسطة تأثير الحرارة يرفعان عارضة $\overline{كل}$ ويرفعان
ايضا في زمن واحد قضبي الحديد وهما $\overline{كسم}$ و $\overline{لن}$ وكذلك
عدسة $\overline{و}$ المعلقة فهما فتكون الكمية التي ترتفع بقدرها العدسة بواسطة
تأثير قضبي النحاس مناسبة لطول $\overline{هث}$ او $\overline{فد}$ وينتج من ذلك
انه اذا كان طول $\overline{اے}$ و $\overline{هث}$ مناسبين لامتداد النحاس في الاقل
والحديد في الثاني يكون مركز العدسة منخفضا بامتداد الحديد بقدر الكمية التي
يرتفع بها المركز المذكور بامتداد النحاس وما فرضناه في ازدياد الحرارة يمكن
فرضه ايضا في قصانها فتكون الكمية التي يرتفع بقدرها مركز العدسة بانكماش
قضبي الحديد مساوية للكمية التي ينخفض بقدرها مركز العدسة بتأثير
انكماش قضبي النحاس

وقد فرضنا في جميع ما ذكرناه أن البندول ليس الا خيطا مجردا عن التناول
معلقا بنهايته نقطة مادية لها ثقل ما ولكن ليس في الطبيعيات بندولات بهذه
المثابة فاذا استعمل في ذلك سلك لين او قضيب غير لين كان لكل من اجزائه
ثقل معلوم وحجم معلوم وكذلك الجسم المعتبر نقطة مادية له ثلاثة ابعاد تمنع
التباسه بالنقطة المادية المذكورة ولا بد من معرفة القوانين التي تكون
بمقتضاها رجات هذا البندول المعروف بالبندول المركب

ولنعلق في نقطة واحدة من محور واحد بندولين متساويي الجسم احدهما

وهو $\overline{ش}$ بسيط (شكل ١٤) والاخر هو $\overline{ش د ه ف}$

مركب ففي استقر هذان البندولان صار ساق البندول البسيط رأسيا
وماراً بمركز ثقل البندول المركب

ولندفع هذين البندولين بقوة اقوية مؤثرة على بعد كبعد $\overline{ر}$ عن المحور
فيكون تأثير التثاقل معدوما بالمحور في الزمن الاول ليكون للبندولين سرعة
واحدة منزوية وينبغي أن يكون مركز دوران البندول المركب متباعدًا
عن المحور بكمية $\overline{ر}$ المساوية لطول البندول البسيط فاذن يكون

$$\overline{ر} = \overline{د} + \frac{\overline{ك}}{\overline{د}}$$

ولنبحث عن التأثير الذي يحدثه التثاقل على البندولين عند تباعدهما
عن المستقيم الرأسى فنقول

لتفرض أن التثاقل يؤثر من مبداء الامر على $\overline{غ و}$ (شكل ١٢)

الذي هو ساق البندول البسيط الماردانما بنقطة $\overline{غ}$ التي هي مركز ثقل

البندول المركب وليكن $\overline{ول} = \overline{غ ع}$ هو الارتفاع الرأسى

الذي تقيس به تأثير التثاقل في البندولين في زمن يسير كزمن $\overline{ط}$ ونحلل

$\overline{ول}$ و $\overline{غ ع}$ الى $\overline{ول}$ و $\overline{غ ع}$ تحليلاً عمودياً على $\overline{ش غ و}$

فيكون تأثير التثاقل الحاصل على مركز ثقل البندول المركب ميئنا بنقط

$\overline{غ ع}$ وتأثير التثاقل الحاصل على البندول البسيط ميئنا بنقط $\overline{ول}$

$= \overline{غ ع}$ لكن حيث كانت نقطة $\overline{و}$ موجودة في مركز دوران البندول

المركب فان قوة $\overline{غ ع}$ المنقولة الى $\overline{ول}$ تدير البندول كما اذا كان

في نقطة $\overline{و}$ اي كالمواضع البندول البسيط بالبندول المركب

فاذن تكون السرعة المنزوية الحادثة من التناقل واحدة في كل من البندولين
البسيط والمركب وعلى ذلك يكون أولا البندولان البسيطان مستمرين
بواسطة تأثيرات التناقل المتوالية على ارتجاجهما بسرعة واحدة وثانيا
يكون طول البندول البسيط هو بعد المحور عن مركز الدوران المعروف
حيث يتركز الارتجاج فاذن متى اعتبر في بندول مركب أن محور التعليق كمحور
الدوران فان مركز الدوران يمتزج بمركز التعليق ويصيران شيئا واحدا
وقد تقدم انه متى قل بالتوازي محورا الدوران من ث الى و استقل
مركز الدوران من و الى ث على مستقيم ش غ و فاذن اذا قل
محور تعليق البندول المركب من ث الى و كان مركز الوجة متقولا
من و الى ث وموجودا على محور التعليق الاول وقد استعملوا هذه
الخاصية في تعيين وتحقيق طول البندول البسيط الذي تحصل رجاؤه
في زمن حصول درجات البندول المركب
ثم ان البندولات المركبة واوضاع مراكز ثقلها ومحاور تعليقها ومراكز
ارتجاجها هي من اعظم المهمات في صناعة الساعات الدقاقة وغيرها من
الات ذات التحرك المتعدد لاسيما تحرك السفن عند ميلها من جانب الى اخر
او من المتقدم الى المؤخر وسياً في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند الكلام على
قوة الماء توضع ذلك بام وجه

(بيان معادل آلات الصارية)

في صناعة آلات الدوران التي تختلف فيها شدة القوة كالبخار على حسب
تغير النار المستعملة تستعمل البندولات المركبة لتفتح بالتدرج مسلكا
للبخار عندما يحدث منه ضغط يبلغ حد التهاية بحيث لو تجاوز ذلك لسكان خطرا
ومثال ذلك كرتان من حديد ملحومتان بقضيين من حديد ايضا يرتجان
على محور افقي يتر باسطوانة رأسية فاذا دارت هذه الاسطوانة حدث من
دورانها قوة مبعدة عن المركز لكل من البندولين المركبين اللذين يدوران معها

بواسطة هذه القوة ويرفع كل منهما حتى تكون محصلة هاتين القوتين مارة
بمحور التعليق وبذلك تكون معدومة وحيث كانت هاتان الكرتان اللتان
مجمعهما واحد الموضوعتان على وجه متماثل بالنسبة للمحور يرتفعان
وينخفضان في كل وقت بكمية واحدة فان الطوق الذي يدور بدون مانع
حول الاسطوانة يكون معلقا بقضيبين متصلين بساقا البندولين فاذا ن يكون
هذا الطوق عرضة تارة للصعود واخرى للهبوط على حسب قرب الكرتين
وبعدهما عن المحور وقد يحرك هذا الطوق ذراع الرافعة الذي يفتح او يغلق
كثيرا اوقليلا المتخذ الذي يخرج منه البخار المتراكم (كما ستقف على ذلك
في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة)

*(الدرس الثامن) *

*(في بيان الرافعة) *

قد ذكرنا جميع ما يتعلق بتصوير التحركات الحادثة بواسطة الجبال اللينة جفا الى
لا فائدة لها الا مجرد الشد بخلاف القضبان الغير القابلة للانثناء فان لها
فائدتين وهما الدفع والشد

وهناك عدة آلات ليس الغرض منها الا أن تستعمل واسطة بين القوة والمقاومة
المجهتين على مستقيم واحد كيد المسحة (شكل ٢) وكباشه المدفع
(شكل ٣) في فن الطوبجية وكخطاف الجارة وسيقان المكابس ونحوها

ولا يشترط في القضيب الغير القابل للانثناء كقضيب \overline{AB} (شكل ١)
أن يكون مستقيما بل يكفي أن تكون صورة انحنائه ثابتة لا تتغير فاذا اوقعنا
على نقطة B قوة تشد او تدفع في جهة BA او AB فان تأثير هذه
القوة يكون واحدا دائما كما لو كان القضيب مستقيما

والرافعة قضيب غير قابل للانثناء مستند على نقطة ثابتة تعرف بنقطة
الارتكاز وواقع عليه في نقطة ثابتة تأثير قوة لاجل ابطال مقاومة حاصلة
في نقطة ثالثة وهي على ثلاثة انواع

النوع الاول (شكل ٥) تكون فيه نقطة الارتكاز وهي A موجودة

بين قوة $\overline{ح}$ ومقاومة $\overline{ر}$

والنوع الثاني (شكل ٦) تكون فيه مقاومة $\overline{ر}$ موجودة بين قوة

$\overline{ح}$ ونقطة الارتكاز وهي $\overline{أ}$

والنوع الثالث (شكل ٧) تكون فيه قوة $\overline{ح}$ موجودة بين مقاومة $\overline{ر}$

ونقطة الارتكاز المذكورة

ولنفرض أن الرافعة المجردة عن التناقل تكون قضيبا مستقيما كقضيب

$\overline{بأث}$ (شكل ٥) أو $\overline{بثأ}$ (شكل ٦) أو $\overline{أبث}$

(شكل ٧) العمودي على اتجاه القوة والمحصلة

فلا يمكن انعدام جهد قوة $\overline{ح}$ ومقاومة $\overline{ر}$ الانبثقة الارتكاز

وهي $\overline{أ}$ الثابتة في الآلة دون غيرها فاذن تكون محصلة $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

مارة بنقطة $\overline{أ}$ واذن يكون

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

اعني أن القوة مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز تكون مساوية للمقاومة

مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز ايضا

فاذا استبدلنا رافعة $\overline{بأث}$ العمودية على اتجاه قوتي $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

برافعة اخرى مائلة مخنية او مستقيمة كرافعة $\overline{سأث}$ لزم أن تكون المحصلة

دائما مارة بنقطة $\overline{أ}$ ومن ذلك يحدث

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

وليس $\overline{أب}$ و $\overline{أث}$ الا مستقيمين وهميين عمودين على اتجاه قوتي $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$

ولاجل اختصار العمليات يمكن أن نفرض دائما أن كل ذراع من الرافعة

يكون مستقيما وعمودا على اتجاه القوة الواقعة على طرفه

ولنفرض قوتين متساويتين كقوتي $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ (شكل ٨) عموديتين

على $\overline{أب}$ و $\overline{أث}$ المتساويين اللذين هما ذراعا رافعة $\overline{بأث}$

المنكسرة فتكون هاتان القوتان مؤثرتين في جهتين متضادتين بحيث يديران

الرافعة حول نقطة الارتكاز وحيث كان التساوي حاصل في كلتا الجهتين

وكانت الآلة متوازنة فان هذا التوازن يبقى على حاله مهما كان مقدار

زاوية $\overline{ب\alpha\theta}$

ولتكن الآن قوة $\overline{ر}$ مساوية ومقابلة لقوة $\overline{ح}$ فتكونان متوازيتين
 وحيتن تؤثر قوة $\overline{ر}$ على مقاومة $\overline{ح}$ كتأثير قوة $\overline{ح}$ عليها فاذن تكون
 $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ المتساويتان الواضعتان على طرفي ذراعي الرافعة المتساويتين
 وهما $\overline{أب}$ و $\overline{أ\theta}$ لهما شدة واحدة فيا ندور نقطة $\overline{أ}$ الثابتة

مثلا اذا اشربنا بمستقيم $\overline{أب}$ لجزأ مر بوط به فرس يسحب على $\overline{ح\beta}$
 فان تأثير القوس الواقع على نقطة $\overline{أ}$ يكون واحدا في سائر نقط الدائرة التي
 يقطعها $\overline{أب}$ مادام بعد $\overline{أ}$ عن $\overline{ب\beta}$ ثابتا على حالة واحدة
 ولنفرض الآن أن قوتين حينما اتفق كقوتى $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ (شكل ٩)
 يكونان واقعيتين على رافعة حينما اتفق كرافعة $\overline{ب\alpha\theta}$ فحيث أن $\overline{أ}$ هي
 نقطة الارتكاز ندير $\overline{أب}$ الى $\overline{أ\theta}$ بحيث يتحول $\overline{ب\beta}$ الى $\overline{ر\theta}$
 الموازى لخط $\overline{ش\theta}$ ويلزم أن تكون محصلة قوتى $\overline{ر}$ و $\overline{ح}$ مارة دائما
 بنقطة $\overline{أ}$ الثابتة ومن هنا يحدث

$$\overline{ر} \times \overline{أ\theta} = \overline{ح} \times \overline{أ\beta} = \overline{أ\theta} \times \overline{أ\beta}$$

وعلى ذلك فهما كلن اتجاها القوة والمحصلة يلزم دائما أن تكون القوة
 مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز مساوية للمقاومة مضروبة في بعدها
 عن نقطة الارتكاز ايضا

(*) تطبيق ما تقدم على تحويل الحركات (*)

اذا اريد بواسطة الحبال تحويل تحرك الى اتجاهاى $\overline{ب\beta}$ و $\overline{ش\theta}$
 المتغايرين فانه يستعمل لذلك رافعة منكسرة كرافعة $\overline{ب\alpha\theta}$
 (شكل ٩) و (شكل ١٠) يربطها بحبلان او سلسلتان او جنزيران
 او سلكان معدنيين مثل $\overline{ب\beta}$ و $\overline{ش\theta}$ وتكون نقطة $\overline{أ}$ التي هي
 رأس زاوية $\overline{ب\alpha\theta}$ ثابتة على محور صغير تدور حوله الرافعة وهذه النقطة
 هي نقطة ارتكاز الرافعة المذكورة

فإذا اقتضى الحال تحويل تحركات صغيرة فانه بواسطة شد سلك $\overline{ح}$ (شكل ١٠) تنتقل $\overline{ب}$ الى $\overline{ب'}$ ويكون قوس $\overline{بب'}$ مقاريا قليلا بلنزه من مستقيم $\overline{ب'ح}$ وبناء على ذلك لا يتغير اتجاه سلك $\overline{ب'ح}$ ولا اتجاه سلك $\overline{ش}$ المشدود بالذراع الثاني من الرافعة كما ان الذراع الاول منها مشدود بالسلك الاول

وهذه هي الكيفية المستعملة في توجيه السلوك المعدنية الواصلة من الجرس الموضوع بقرب الاماكن التي يكون فيها الخدم الى المكان الذي يكون فيه المنادى وتستعمل السلوك والرافعة المنكسرة في الآلات الكبيرة لاجل تحويل التحركات المترددة

ولنفرض أن المطلوب في مجرى المكبس رفع مكبس $\overline{م م'}$ (شكل ١٢) ونخفضه بواسطة قوة اقصية تشده في اتجاه $\overline{ب ح}$ فمن البديهي انه اذا شد سلك $\overline{ب ح}$ في جهة السهم بواسطة الرافعة القائمة الزاوية وهي $\overline{ب ا ث}$ يرتفع ذراع رافعة $\overline{ا ث}$ ويرفع مكبس $\overline{م}$ واذا اريد أن $\overline{ث ط}$ للذي هو ساق المكبس يكون دائما على رأسي واحد لزم أن يكون دائما مماسا لقوس $\overline{ث ا}$ الصلب المرسوم من نقطة $\overline{ا}$ المأخوذة مركزا

فاذا اقلنا سلك $\overline{ب ح}$ فان ثقل المكبس يوصل الرافعة الى وضعها الاصلى ثم يأخذ هذا السلك في التأثير ثانيا لاجل رفع المكبس وقد تطلق التحركات المترددة على التحركات التي تحصل بالتعاقب في جهتين ويؤخذ من رجات البندول شاهد عظيم على مثل هذه التحركات

وقد تطبق عملية الرافعة المنكسرة على النشر تطبيقا مفيدا بواسطة علم الميكانيكا

فيلصق منشار $\overline{د ص}$ (شكل ١٣ مكرر) من نقطة $\overline{ل}$ بساق $\overline{د ث}$ ومن نقطة $\overline{ث}$ بذراع $\overline{ث ا}$ من رافعة $\overline{ث ا ب}$ مع تأثير قوة $\overline{ح}$ على ساق $\overline{ب ح}$ غير القابل للاثناء فاذا شد $\overline{ب ح}$ رسم ذراع الرافعة وهو $\overline{ا ث}$ قوسا وكان المنشار مشدودا من جهة الرافعة

ومنى دفع **ب ح** حصل تأثير مضاد وكان المنشار مدفوعاً بالرافعة
ولهذا كان في علم الميكانيكا ما يماثل من تحرك المنشارين (شكل ١٣)
الذين تكون أعضاؤهما وهى **ش ا ب ح ر ض** و **ش ا ب ح ر ض**
رافعتين منكسرتين

ويمكن بواسطة الرافعة توازن القوة الكبيرة مع القوة الصغيرة * مثلاً إذا كانت
المقاومة أقرب لنقطة الارتكاز من القوة بمائة مرة قطعت بذلك مسافة
لا تبلغ هذا القدر عند حصول التحرك لزم بمقتضى التعديل أن تكون المقاومة
أكبر من القوة مائة مرة (فأنا كان حاصل ضرب المقاومة في ذراع رافعتها أقل
من حاصل ضرب القوة في ذراع رافعتها كان التحرك حاصلاً في جهة القوة
وكانت الآلة سائرة إلى جهة الامام إلا أن سيرها يكون بواسطة جزء من
القوة لم يعدم بالكلية لاجل توازن المقاومة فاذن يلزم طرح هذا الجزء
مضى أريد تحصيل جزء القوة الذى لا بد منه في حصول التحرك)

هذا وقد زعم من لا معرفة له بقواعد علم الميكانيكا مستغفراً بالهذه النتيجة
أنه يمكن إحداث القوة بواسطة الآلات ومقتضاه أنه يمكن بواسطة قوة صغيرة
إبطال مقاومة متوسطة وحفظ ما يبقى من القوة الكافية لتحصيل التأثيرات
العظيمة وذلك لأن القوة الصغيرة على زعمه توازن القوة الكبيرة

وبكى في الوقوف على خطأ هذا القول اعتبار تحرك الرافعة فإذا فرضنا
أن قوتى **ح** و **ر** (شكل ١٠) متوازتان بواسطة رافعة **ب ا ث**
ثم زدنا القوة الأولى عن الثانية قليلاً فإن التوازن يعدم ويكون التحرك حاصلاً
حيث أن ذراع الرافعة وهو **ا ب** يأخذ في الدوران في جهة **ب ح**
الذى هو اتجاه القوة الكبيرة والذراع الآخر وهو **ا ث** يدور في جهة
ث ر المقابلة لهذه القوة المقاومة فيقطعان في وقت ما زاويتين متساويتين
كزاويتي **ب ا ر** و **ث ا ح** فاذن يكون قوسا **ب ر** و **ث ح**
الذنان قطعتهما نقطتا **ب** و **ث** مناسبين لطول ذراعى الرافعة
وهما **ا ب** و **ا ث** (ولفرض أن هذين الذراعين يكونان عموديين

على اتجاه القوتين المقابلتين لهما

لكن حيثان $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{اث} : \overline{اب}$

يكون $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{قوس شث} : \overline{قوس بر}$

فعلى ذلك تكون قوتا $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ مناسبتين تناسبامتعا كالمقوسين اللذين تقطعهما نقطتا وقوعهما عند فرض اختلال التوازن

وبهذا البرهان يظهر أن القوة الموازنة للمقاومة تكون مجبورة على قطع قوس كبير بقدر صغرها بالنسبة للمقاومة فيلزم حيثئذ أن القوة في المسافة التي قطعها تقطع ما اكتسبته بنفسها لاجل توازن المقاومة فاذن تكون كمية التحرك المقيسة بمحاصل ضرب كل قوة في المسافة المقطوعة واحدة في جهة المقاومة بدون امكان زيادتها فان هذه القاعدة الشهيرة التي ذكرناها عامة في جميع الآلات ولا يمكن فيها اصلا ازدياد كمية التحرك فاذن ثبت استعماله احدث القوة

فاذا اخذنا مدة التحركين الحادثين من قطبي $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ وجعلناها وحدة (شكل ١٠) فان مسافتيهما $\overline{بر}$ و $\overline{ثث}$ بدلان على سرعتيهما ويطابق اسم السرعة المنبهة على السرعة التي تأخذها $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ اللتان هما نقطتا وقوع القوة والمقاومة اذا اختل التوازن قليلا جئنا على حين غفلة ويعبر في الرافعة عن هذا التساوى وهو $\overline{ح} \times \overline{بر} = \overline{ر}$ \times $\overline{ثث}$ بأن يقال في حالة التوازن ان القوة مضروبة في سرعتها المنبهة تكون مساوية للمقاومة مضروبة في سرعتها المنبهة

واذا فرضنا أن ذراع الرافعة وهو $\overline{اب}$ (شكل ١١) مائل بدلا عن كونه عمودا على $\overline{بح}$ الذي هو اتجاه القوة وادرننا الرافعة قليلا بتدور زاوية $\overline{بام} = \overline{رام}$ وكان $\overline{ار}$ عمودا على $\overline{بح}$ المنتد فحيث ان نصفي القطرين مناسبان للمقوسين يحدث هذا تناسب وهو

$$\overline{اب} : \overline{ار} :: \overline{بم} : \overline{رم}$$

فاذا مددنا من نقطة م مستقيم م ن عمودا على ب ح الممتد
حدث من ذلك مثلثا ب م ن و ا ب - وهما متشابهان حيث ان
اضلاعهما اعمدة على بعضها ومن ذلك يحدث هذا التناسب وهو

$$ا ب : ا ر :: ب م : ب ن$$

وذلك يقتضى أن $ب ن = س م$ وحيث تفهما كانت ب التى هى
نقطة وقوع قوة ح على ذراع ا ب فانه عند اختلال التوازن قليلا
وقياس المسافة التى قطعها نقطة الوقوع على ب م الذى هو اتجاه القوة
تحدث سرعة واحدة منبهة مقومة على هذا الاتجاه فينتد يكون التوازن
حاصلا متى حدث عن القوة المضروبة فى سرعتها المنبهة المقيسة بالوجه المتقدم
او عن المقاومة المضروبة ايضا فى سرعتها المنبهة المقيسة على الوجه المذكور
حاصل واحد على اى حالة كانت قطعتا وقوع القوة والمقاومة بفرض أن هاتين
القوتين يديران الرافعة فى جهتين متضادتين

وهذه هى القاعدة الشهيرة المعروفة بقاعدة السرعة المنبهة وليست مختصة
بالرافعة بل تجرى ايضا فى مائر الاكوات وجميع ما للقوى من التراكيب
الوهمية وقد بنى المهندس لاغريج الشهير على هذه القاعدة اصول الميكانيكا
التحليلية التى جمعها فى كتابه الشهير الذى هو من اعظم مؤلفات هذا العلم
ثم ان محصلة القوتين المتوازيتين على الرافعة اذا انعدمت بنقطة الارتكاز
تكون مساوية للضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز المذكورة

فاذن ينتج أولا انه متى كانت القوة والمقاومة متوازيتين ومتجهتين فى جهة
واحدة كان الضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع
القوة والمقاومة

وثانيا متى كانت القوتان مؤثرتين فى جهتين متضادتين كان الضغط الحاصل
من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لفاضل هاتين القوتين ومتجهها
الى جهة كبراهما

وعلى ذلك ففي الرافعة التي من النوع الاول (شكل ٥) يكون ضغط $\overline{ر}$ الحاصل على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع القوة والمقاومة وفي الرافعة التي من النوع الثاني (شكل ٦) يكون هذا الضغط مساويا للمقاومة ناقصا القوة ومتجهها الى جهة المقاومة وفي الرافعة التي من النوع الثالث (شكل ٧) يكون مساويا للقوة ناقصا المقاومة ومتجهها الى جهة القوة فاذا لم تكن قوتنا $\overline{ب ح}$ و $\overline{ش ر}$ متوازيتين لزم أن نعد اتجاهيهما حتى يتقاطعا في نقطة $\overline{د}$ (شكل ١٤) ثم نرسم على مستقيبي $\overline{ب د}$ و $\overline{د ش}$ متوازي الاضلاع لقوتَي $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ وهو $\overline{أ ر د ش}$ فيكون $\overline{أ ر}$ و $\overline{ر د}$ هذا الشكل مارا بنقطة الارتكاز وهي $\overline{أ}$ وتبيننا يكون هذا لوزن الا مقدارا واتجاهها على الضغط الحاصل على نقطة الارتكاز

(ولكن $\overline{أ ر د ش}$ هو متوازي الاضلاع الحادث من $\overline{م د أ}$ و $\overline{أ ت}$ الموازيين لخطي $\overline{ش ر}$ و $\overline{ب ح}$ فيثبتان مستقيبي $\overline{أ ب}$ و $\overline{أ ت}$ عمودان على مستقيبي $\overline{ب ح}$ و $\overline{ش ر}$ فان مثلثي $\overline{أ ب}$ و $\overline{أ ت ش}$ يكونان قائمي الزاوية وزيادة على ذلك يكون كل من زاويتي $\overline{ر}$ من المثلث الاول وزاوية $\overline{ش}$ من المثلث الثاني مساويا لزاوية $\overline{ب د ش}$ فتكونان هما ايضا متساويتين فاذن يكون مثلثا $\overline{أ ب}$ و $\overline{أ ت ش}$ متشابهين ومن ذلك يحدث هذا التناسب وهو

$$\overline{أ ت} : \overline{أ ب} :: \overline{أ ش} : \overline{أ ر}$$

لكن $\overline{أ ت} = \overline{د ر}$ و $\overline{أ ر} = \overline{د ش}$ فيحدث من متوازي الاضلاع للقوى هذا التناسب وهو

$$\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{د ر} : \overline{د ش}$$

فاذن يكون $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{أ ش} : \overline{أ ب}$ و $\overline{ح} \times \overline{أ ب} = \overline{ر} \times \overline{أ ش}$

وحيث أن تكون نقطة $\overline{أ}$ المأخوذة في النقطة التي يتقاطع فيها وتر متوازي

الاضلاع للقوى مع رافعة ب ا ث هي في الحقيقة نقطة الارتكاز وقائدة ذلك انظرها للاتحاد بين امرين متباينين

فاذا كان هناك عددا من القوى مثل ح و خ و د و ر و ض و ط
(شكل ١٥) الواقعة على رافعة ث ب ا د ه ف وزلنا اعمدة

ا ح و ا غ و ا ر الخ على اتجاه كل من هذه القوى ثم اخذنا أولا لمقادير القوى التي تدبر الرافعة في جهة مجموع حواصل ضرب كل قوة في ذراع رافعتها وثانيا مجموع الحواصل المقابلة لمقادير سائر القوى التي تكاد تدبر الرافعة في جهة مضادة للمتقدمة ك كان التوازن حاصلًا اذا كان هذان المجموعان متساويين وحيث يعلم شرط التوازن من هذا التساوي وهو

$$\text{ح} \times \text{ا ح} + \text{خ} \times \text{ا غ} = \text{د} \times \text{ا ر} + \text{ض} \times \text{ا ض} \text{ الخ}$$

وحيث انهنالك كلام تفصيلا على ما يتعلق بنظري الرافعة حق أن تسلك على ما يتعلق بذلك من الاحوال الخصوصية الاصلية وعلياتها فنقول

***(بيان الرافعة التي من النوع الاول) ***

الرافعة البسيطة المنتظمة هي ما كان ذراعاهما متساويين والتوازن فيها مستلزما لتساوي القوة والمقاومة ايضا ومن هذا النوع الميزان

فهو كما في شكل ١٦ كناية عن رافعة ذراعاهما ا ب و ا ث متساويان وتعرف بقب الميزان ونقطة ارتكازها وهي ا محمولة على لسان ل م د وعلى هذا اللسان محور ل ا د الافقي الذي يمكن أن يدور حوله قب الميزان وفي كلتا نهايتي هذا القب كفتان مستديرتان (شكل ١٦) او مربعتان (شكل ١٧) مربوطتان بسلاسل او خيوط ولا بد أن يكون نقل الكفتين واحد أو أن تكونا متساويتين وابعادهما واحدة وخيوطهما متساوية ومحور قمتاهما ما زال بمركز ثقلهما أو أن يكون الوضع الاصلى لتوازنهما هو الوضع

الذي يكون فيه هذا المحور رأسيا بحيث اذا وضع في مركز ثقل الكفتين شيء
يراد وزنه تكون هاتان الكفتان باقيتين على وضعهما الاصلي ولا يكون الشيء
الموزون عرضة للسقوط بسبب ميل احدى الكفتين من جهة اكثر من الاخرى
فيوضع في احدى الكفتين ثقل $\overline{ح}$ الذي هو كناية عن قوة $\overline{ح}$ وفي الثانية
الشيء المطلوب وزنه الذي هو كناية عن مقاومة $\overline{ر}$ حتى كانت هاتان
القوتان متساويتين وكان قب الميزان اتقيا فان شرط التوازن يكون

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

فاذا لم يكن $\overline{أب}$ مساويا $\overline{أث}$ بل كان اصغر منه لم أن تكون $\overline{ح}$
اكبر من $\overline{ر}$ ليكون الحاصلان باقيين على تساويهما فعلى ذلك اذا كان
ذراعا الميزان غير متساويين ووضعت الصنجة في جهة اصغرهما فانه يوازنها
من البضاعة ما يكون دونها في الثقل وهذا ما يسلكه اهل الفس الخسرون
في موازينهم الفاسدة فاذا اردت اظهار غشهم فضع الصنجة موضع البضاعة
الموزونة وهي موضع الصنجة فحيث ان القوة الصغيرة في نهاية الذراع الصغير
من الرافعة ينعدم التوازن بين الصنجة والموزون

وقد استعملوا في كثير من القنون والتجارب التي عملها الكيمائيون
والطبيعيون والمهندسون كيفية لا تتعلق بضبط الميزان في شيء حيث يضعون
في احدى الكفتين جسم $\overline{ر}$ الذي يراد وزنه وفي الكفة صنج $\overline{ح}$ التي توازنه
ثم يرفعون ذلك الجسم ويضعون بدله اثقالا جديدة تجتمع حتى توازن الصنج
المذكورة بجسم $\overline{ر}$ فهذه الاثقال الجديدة تدل ضرورة بمجموعها على ثقل
جسم $\overline{ر}$ مع الضبط

ولاجل اختبار ما يتعلق بالميزان اختبارا تاما يلزم اعتبار ثقل الكفتين وقب
الميزان ولا بد من وجود التوازن من مبداء الامر قبل وضع اي ثقل في الكفتين
ولا بد ايضا أن يكون ذراعا الرافعة متعديين في الثقل والطول وأن يكون مركزا
ثقلهما على بعد واحد من المستقيم الرأسي الممتد من نقطة الارتكاز او من
محور قب الميزان

فان كان أ ب و ا ث ذراعى الميزان و غ و ش مركزى ثقلهما
 يلزم أن يكون س الذى هو ثقل ذراع أ ب المحصور فى غ متوازنا
 مع ص الذى هو ثقل ذراع ا ث المحصور فى ش فاذن يكون

$$س \times ا غ = ص \times ا ش$$

واذا كان غ و ش نقطة الارتكاز وهى ا على مستقيم واحد
 كان التوازن حاصلًا دائمًا على اى حالة كان ميل الرافعة وفى هذه الصورة
 لا يأخذ الميزان وضعًا مخصوصًا الا اذا وضع فيه انقال اجنبية وبالجملة فادنى
 زيادة فى الثقل تجذب احد ذراعى الميزان الى اسفل ويحصل من ذلك تحرك
 غير محدود

وفى مزيد الاهتمام يجعل مركزى غ و ش اخفض قليلا من نقطة
 الارتكاز (شكل ١٨) لكن بشرط أن يكونا فى ارتفاع واحد اذا كان
 ذراع أ ب و ا ث اثنين فاذا اختلف التوازن حينئذ قليلا يهبط
أ ب مثلا (شكل ١٩) ودرج ا ث فان مستقيم ا ش يقرب
 من الافق بخلاف ا غ فانه يبعد عنه اكثر من بعده وهو فى وضعه الاول
 فاذن اذا مددنا مستقيمى س غ غ و ص ش ش الرأسيين من
 مركزى غ و ش ثم مددنا ايضا خط غ ا ش الافقى كان اثره
 بالضرورة اكبر من ا غ لكن يكون فى هذا الوضع $س \times ا غ$ هو مقدار
 $س$ و $ص \times ا ش$ هو مقدار ص = س فاذن يكبر مقدار
 اليين وبذلك يأخذ ذراع ا ث فى الهبوط حتى يصير وضع رافعة
ا ث اقويا وحيث ان هذا الذراع هبط بسرعة معلومة بسبب ما اكتسبه
 من التحرك عند وصوله الى الوضع الافقى فان هذا التحرك يكون مستمرا ويكون
ا ث نازلا تحت الافق بخلاف أ ب فانه يرتفع فوقه فيحصل بذلك
 ارتجاج يصير مستمرا حتى كان لا يحدث عن الاحتكاك او مقاومة الهواء ما يمنع

هذا الاستمرار الا أن تأثيرهاتين المقاومتين يوقف الموازين المضبوطة مضبوطا
 تاما بعد عدة درجات طويلة المسافة او قصيرتها لكنها تكون محدودة دائما
 وليكن \overline{O} (شكل ١٨ و ١٩) مركز ثقل قب الميزان فإذا كان التوازن
 مختلفا قليلا فان ثقل $\overline{S} + \overline{ص}$ يأخذ في توصيل \overline{O} الى المستقيم
 الرأسى بواسطة قوة $(\overline{S} + \overline{ص})$ مضروبة في قوس $\overline{م}$ و
 الذى يقطعه مركز \overline{O} من ابتداء مستقيم $\overline{أم}$ الرأسى وهو قوس مناسب
 ليعد $\overline{أو}$ بالنسبة الى زاوية واحدة

وان اردت أن تعرف عند عمل الميزان هل مركز ثقل القب قريب او بعيد عن
 نقطة الارتكاز وهي $\overline{آ}$ لزم أن تعتني زمن معلوم درجات هذا القب فان كانت
 بطيئة جدا او صعبة الحصول كان المركز قريبا جدا من نقطة الارتكاز
 وان كانت سريعة جدا كان الامر بالعكس فيلزم قريبا المركز من نقطة
 الارتكاز بأن نرفع او نخفض مركز ثقل قب الميزان وذلك بحذف شئ من جزئه
 الاسفل او اضافة شئ اليه

وقب الميزان هو يدول مركب تعلم سرعة رجائه ومدتها بالحسابات المذكورة
 في الدرس السابق متى تعين مقدار ايتسمى الميزان ووضع مركزه وهو $\overline{و}$

و ثم طريقة سهلة يعرف بها صحة وضع قب الميزان وهي أن تأخذ لسان $\overline{أم}$
 المثبت في القب تثبيتا جيدا (شكل ١٦ و ١٧) وتجعله عمودا على رافعة
 $\overline{ب آ ث}$ فتكون حالة $\overline{أم}$ المسكة من نقطة $\overline{م}$ عند وضع الميزان
 في وضع رأسى ومتى كان $\overline{ب آ ث}$ اقربا كان اللسان العمودى عليه رأسيا
 وحيث يدكنى لجهة الميزان أن يكون اللسان غير مائل الى جهة اليمين ولا الى جهة
 الشمال عند خلق كفتى الميزان او عند وضع الصنج في احدهما والشئ المراد
 وزنه في الاخرى

هذا ومقتضى ما ذكرناه من التفاصيل أن الآلات البسيطة لا يمكن أن تبلغ
 في الصناعة درجة كمال مالم تعين القوانين الميكانيكية اللازمة لاجزائها
 المتنوعة لكي تكون تامة الضبط

والقبان كالميزان فهو رافعة من النوع الاول تستعمل لايقاع التوازن بين ثقل ايا كان وقوة صغيرة تعرف بالرمانة

فنقترض رافعة مستقيمة كرافعة $\overline{ب\text{ا\theta}}$ يكون ذراعها الصغير وهو $\overline{ا\theta}$ مأخوذاً وحدة قياس وذراعها الكبير مقسوما الى عدد ما من الوحدة فيجيب وضع الرمانة المرموز اليها بحرف $\overline{ح}$ في قسط التقسيم وهي ١ و ٢ و ٣ و ٤ الخ تكون هذه الرمانة موازنة للثقل المرموز اليه بحرف $\overline{ر}$ فيكون مساوياً لثقلها مرة واحدة او ٢ او ٣ او ٤ الخ

فانما قسمنا كل جزء من اجزاء الذراع المذكور وهو $\overline{ا\theta}$ المقسوم سابقاً الى اجزاء مساوية للذراع الصغير وهو $\overline{ا\theta}$ تقسيماً ثانوياً بأن تقسم كل جزء من تلك الاجزاء الى عشرة اجزاء متساوية مثلاً فان كلامنا من هذه الاجزاء الثانوية يدل في حاصل $\overline{ا\theta} \times \overline{ح}$ على عشر حاصل $\overline{ا\theta} \times \overline{ح}$ وذلك يستلزم لاجل حصول التوازن أن نزيد ثقل $\overline{ر}$ زيادة تساوى عشر $\overline{ح}$ وكل تقسيم ثانوى مساوٍ لجزء من مائة من $\overline{ا\theta}$ يدل ايضاً في حاصل $\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ر}$ على جزء من مائة من $\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$ فعلى ذلك اذا قسمنا ذراع $\overline{ا\theta}$ الى احدى وعشرين ومائة ونحو ذلك قسمة مضبوطة امكن تعيين مرات احتواء ثقل $\overline{ر}$ مثلاً على ثقل كثقل $\overline{ح}$ وتعيين اعشار هذا الثقل المأخوذ وحدة وكذلك عشر هذا الثقل وواحد من مائتيه وهلم جرا

وما ذكرناه في درجات الميزان يمكن اجراء بعضه في القبان فيلزم أولاً أن تكون تقطعتا النوع وهما $\overline{ب}$ و $\overline{ث}$ موجودتين على مستقيم واحد مع نقطة الارتكاز وهي $\overline{آ}$ وثانياً أن مركز ثقل القبان يكون اخفض قليلاً من نقطة $\overline{آ}$ ويكون على خط رأسي مع هذه النقطة اذا كان خط $\overline{ا\theta}$ اقرباً

فانما اقتضى الحال الوقوف على ضبط الوزن بالقبان كان التعويل في ذلك على تكرير الوزن بمعنى انه بعد حصول التوازن بين الجسم والرمانة وتعيين النقطة التي حصل فيها التوازن نضع محله صنجا بقدر الارطال المعينة بالقبان

فان حصل التوازن كانت الآلة مضبوطة والا فلا وبالجمله فهما كان خلل الآلة المستعملة فان الصنج التي توضع محل الجسم المراد وزنه تقوم مقام زنته حين توازن مع الرمانة والفرق الحاصل بين اوطال الصنج والارطال المعينة بالقبان هو خلل تلك الآلة ولا يخفى أن استعمال هذه الطريقة يسهل به في كثير من الصور ما صعب من العمليات الثابتة بالتجارب والبراهين ونحو ذلك من اليقنيات

ثم ان القبان من الروافع التي من النوع الاول حيث توازن فيه مقاومة ايا كانت مع قوة اصغر منها وليست هذه الروافع مقصورة على تحصيل التوازن بل نستعمل ايضا في تحصيل التمزكات

وذلك كدفة السفن صغيرة كانت او كبيرة فهي مما نحن بصدده فنفرض رافعة كرافعة ش ا ب (شكل ٢١) الثابتة من نقطة ا على مؤخر

السفينة يكون احد ذراعيها وهو ا ب منغمسا في الماء والثاني وهو ا ث ممسكاً من نقطة ث بيد الرئيس او غيره او بالآلة ميكانيكية حيث ما اتفق

فاذا كانت السفينة سائرة وكانت دفة ش ا ب موجودة في اتجاه السير فانه لا يعرض لها مقاومة من الماء بخلاف ما اذا دفع الرئيس يد الدفة التي هي

ا ث الى نقطة ث مثلاً فانه يعرض لحز الدفة وهو ا ب مقاومة س التي تزداد بازدياد زاوية ب ا س وتعمل قوة س المائلة الى قوتين

احدهما قوة س م التي في جهة ا ب ولا تأثير لها الا شد الدفة من جهة طولها لتخلعها من رزاتها والثانية قوة س م العمودية على ا ب التي تدفع الدفة الى جهة مضادة للسير ويجب ما سبق في الدرس الخامس يكون

لقوة س تأثيره تدور السفينة ويكون مقداره مساويا س م \times غ غ

بفرض أن غ غ هو بعد مركز ثقل السفينة وهو غ عن اتجاه س م ولنجعل ح رمزاً الى قوة الرئيس الواقعة على نقطة ث ولنجعل د

رمزاً الى مركز وقوع س م فيصير لاجل توازن الدفة ح \times ا ث = س م \times ا د

(بيان الرافعة التي من النوع الثاني)

قد سبق أن المقاومة في الرافعة التي من هذا النوع تكون موجودة بين القوة ونقطة الارتكاز فلا تستعمل هذه الرافعة الا في الاحوال التي تكون فيها القوة اصغر من المقاومة

ومن هذه الروافع المداري والمخاديف المستعملة لسير السفن الى الامام فتكون القوة واقعة على نقطة $\overline{ن}$ (شكل ٢١) التي هي مقبض المذرة المرموز اليها برمز $\overline{ن و م}$ وشاة للمقبض المذكور من مؤخر السفينة الى مقدمها وتكون نقطة الارتكاز وهي $\overline{م}$ موجودة في الطرف الاخر من المذرة وتكون المقاومة حاصلة من السفينة في $\overline{و}$ التي هي نقطة من نقط حافة السفينة اما بواسطة ثقب في هذه الحافة او مسمار رأسي يعرف بالآخر يطم ومن البديهي انه اذا عين مركز مقاومة جزء المذرة المنغمس في الماء كانت القوة مضروبة في بعد هذا المركز عن مقبض المذرة مساوية للمقاومة مضروبة في بعد المركز المذكور عن النقطة التي تكون فيها المذرة مستندة على حافة السفينة لان هذا المركز معتبر كنقطة الارتكاز

ويلزم تصير الذراع الصغير بقل ما حتى تكون الرافعة متوازنة تقريبا على نقطة $\overline{و}$ التي قلت هي اليها بواسطة السفينة وذلك لتلايداد الشغل على الملاح بالاتكاء على هذا الذراع لاجل موازنة الذراع الكبير

(بيان الرافعة التي من النوع الثالث)

حيث ان القوة في هذه الرافعة موجودة بين نقطة الارتكاز والمقاومة فانها بالضرورة تكون اكبر من المقاومة فلا تستعمل هذه الرافعة الا في الاحوال التي تكون فيها القوة اكبر من المقاومة

ومن هذه الروافع الريشة وفرشة الرسم وقلم الجدول فيلزم أن يكون سن الريشة وقلم الجدول سريع الحركة لصغر المقاومة التي تعرض له على الورق ومن هنا يعلم الوضع الملايم لامسا هذه الآلات

فتكون $\overline{آ}$ التي هي نقطة ارتكاز ريشة $\overline{آست}$ (شكل ٢٢) موجودة على العقدة الاولى من السبابة فتكون المقاومة حيثئذ في نقطة $\overline{ش}$ من الورق الذي تحصل فيه الكتابة التي هي تأثير الرافعة وتكون القوة مضغوطة بين الابهام والسبابة والوسطى الى $\overline{م}$ و $\overline{د}$ و $\overline{و}$ فاذا قلبت اليد (شكل ٢٣) لتتغير من الريشة ابصرت $\overline{م}$ و $\overline{د}$ و $\overline{و}$ التي هي نقط وقوع الاصابع المذكورة وكلما ازدادت قوة الاعصاب الواقعة على $\overline{م}$ و $\overline{د}$ او $\overline{و}$ لتتغير في النقطتين الاخرين منها كانت الريشة مدفوعة الى جهات متنوعة تلامي رسم سائر انواع الحروف والصور

وفي عملية الكتابة شاهدين على التركيب الحقيقي للات البسيطة في التظاهر فانك ترى وقت الكتابة الاصبعين الاخيرين من اليد اليمنى مسندا للريشة والساعد الايمن والذراع الايسر مسندا للجسم بتمامه وكل ذراع مع يده يتركب من اثنتين وعشرين رافعة من النوع الاول وكل ساق مع رجله يتركب من ثلاث وعشرين رافعة من ذلك النوع

ثم ان ارباب التناكيف الذين لا يرضون استعمال الات المركبة في الفنون ويحترضون على تركها ويميلون الى الاصول الطبيعية يستعملون رافعة اصطناعية متحركة بثلاث قوى متحصلة من مجموع تسعين رافعة موجودة في النوع البشري من اصل الخلقة وهذه الرافع يدفعها او يجذبها بالتعاقب مائة وثمانون طاقة من الاوتار المعروفة بالاعصاب التي منها ما هو مربوط بنقطة الارتكاز من جهة الامام ومنها ما هو مربوط بها من جهة الخلف وحيث كانت كثرة الاوتار والرافع لا توجب اختلالا ولا تعطيل في العمليات التي ياشرها الانسان باعضائه سهل علينا ان نثبت ان هذا التركيب الجيد يلزمه النباهة والاستعداد لاجراء عدة عمليات دقيقة ليست في وسع غيره من سائر الحيوانات التي هي دونه في الاعصاب والرافع بالنظر لتركيبها

وفي القنون ما هو نظير هذه الامور الطبيعية كالروافع والاوراقان اذ رعة
الاشارات روافع متحركة بواسطة جبال كما أن اذ رعة الانسان تتحرك
بواسطة الاعصاب

فاذا اقتضى الحال تحصيل التوازن بين قوة صغيرة ومقاومة كبيرة لزم
بواسطة استعمال رافعة واحدة وضع نقطة الارتكاز قريبة جدًا من نقطة
وقوع المقاومة وربما نشأ عن ذلك في كثير من الاحوال موانع قوية تمنع
من حصول المطلوب مع الصحة والضبط وقد يتدارك هذا الخلل باستعمال
عدة روافع كالتي في شكل ٢٤ وحيث ان قوة ح رافعة على طرف الذراع
الاكبر من رافعة ب اذ فان طرف الذراع الاكبر وهو ر من
رافعة ثانية كرافعة ث د يكون موضوعا على نقطة ث التي هي
طرف الذراع الاصغر وهو ل من الرافعة الاولى وقس على ذلك رافعة ثالثة
كرافعة هـ غ ش وهكذا

ولتكن س و س و س الخ هي المقاومات الحاصلة على
ث و هـ و ش التي هي قط تقاطع الروافع المتوالية ولتكن
ل و ل و ل الخ هي الاذ رعة الكبرى من تلك الروافع و ل و ل
و ل الخ هي اذ رعتها الصغرى فيحصل معنا شرط التوازن وهو في الرافعة

$$\frac{\text{ح} \times \text{ل}}{\text{س} \times \text{ل}} = \frac{\text{س} \times \text{ل}}{\text{ل} \times \text{ل}} \quad \text{الاولى}$$

$$\frac{\text{س} \times \text{ل}}{\text{س} \times \text{ل}} = \frac{\text{س} \times \text{ل}}{\text{ل} \times \text{ل}} \quad \text{وفي الثانية}$$

$$\frac{\text{س} \times \text{ل}}{\text{س} \times \text{ل}} = \frac{\text{س} \times \text{ل}}{\text{ل} \times \text{ل}} \quad \text{وفي الثالثة}$$

فاذا ضربنا اولا الحدود الاول من هذه المعادلات في بعضها ثم الحدود
الثواني كذلك وطرحنا من الحاصلين الكميات المشتركة وهي س و س
و س الخ فحيث ان ر هي القوة الاخيرة اى المقاومة يكون شرط

التوازن على وجه الاختصار هو

$$\overline{ح} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ر} = \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل}$$

اعني أن القوة مضروبة في الأذرع الكبرى من الرافعة تساوي المقاومة مضروبة في الأذرع الصغرى منها

ولنفرض مثلاً أن الذراع الأكبر من الرافع يساوي الذراع الأصغر عشر مرات فإذا أخذنا بالتوالي رافعة واحدة أو ٢ أو ٣ أو ٤ الخ ظهر أن المقاومة مساوية للقوة مضروبة في ١٠ أو ١٠٠ أو ١٠٠٠ أو ١٠٠٠٠ الخ وعلى ذلك فيمكن في حصول التوازن بين قوة ومقاومة أكبر منها عشرة آلاف مرة أربع روافع تكون فيها نقطة الارتكاز أقرب إلى المقاومة من القوة عشر مرات فقط

وفي أنكلترية يستعملون عدة روافع كالمقدمة في (شكل ٢٤) في قياس قوة القن المتخذة من الحديد

وتستعمل أيضاً الرافع المتقدمة استعمالاً يديعاً في إثبات ما يكون للقضبان المعدنية من الامتداد عند تعرضها للحرارة وهذا الامتداد الدقيق جداً الذي لا يدركه النظر يلزم ضربه في عشرة آلاف مع الرافع الأربع المذكورة إذا كان الذراع الأكبر من الرافعة الأخيرة مقرباً مئلاً لأنه يكون حينئذ سريع الحركة فيمكن إذن بواسطة تقسيم القوس الذي يقطع هذا المقرب الحكم على ما يكون للقصيب المعدني من الامتداد وبهذه الكيفية يمكن أن نعين مع الضبط نسب امتداد الحديد والصلب والنحاس وهي نسب يستفيد منها الساعاتية وتعود عليهم بالمنفعة

(راجع بندولات التعديل المتقدمة في الدرس السابع)

(الدرس التاسع)

(في بيان البكرات والملفات)

البكر من حيث هي (شكل ١) تتركب من ثلاثة أجزاء أحدها قرص مستدير

محيطه ثم ميز إلى عميق من سائر جهاته لاجل ادخال الحبل وثانها محور يدور
 عليه القرص وثالثها حاملة أب ش د مثله في جسم يوجد به
 ثقب م ن الذي يدور فيه القرص وفيه ثقب آخر هو ط مستدير
 عودي على م ن المذكور معد لدخول محور البكرة فيه

وفي البكرة الثابتة (شكل ٢) تكون الحاملة ثابتة ومربوطة بنقطة ثابتة
 فرضا او تحقيقا كنقطة س وكذلك يلزم أن يكون المحور ثابتا والافلابد
 من أن يكون بعده عن نقطة س لا يتغير وأن تكون قوة ح مؤثرة
 في احد طرفي ح أم ب خ ومقاومة خ ثابتة في الطرف الآخر
 منه فاذا اثرت القوة في المقاومة فانها تشد الحبل حتى يظهر منه جزءان

مستقيمان بجزئي أ ح و ب خ احدهما وهو أ ح واصل من
 البكرة الى القوة والاخر من البكرة الى المقاومة ويظهر منه ايضا جزء على
 صورة منحنى أم ب يلتف على محيط حلق البكرة وهو اقصر خط يمكن رسمه
 بين نقطتي أ و ب على سطح هذا الحلق وقد سبق ايضا حواص
 هذا السطح في الدرس الخامس عشر من الجزء الاول من هذا الكتاب

فاذا كانت قوتا ح و خ في مستور رأسي كان هذا المستوى ايضا
 مستويا لمنحنى أم ب ولا يمكن أن تكون هاتان القوتان متوازيتين
 بالنسبة لنقطة س الثابتة الا في صورة ما اذا كانت النقطة موجودة
 في مستوى القوة والمقاومة الرأسية

وكما ان البكرة الثابتة تستعمل في رفع الدلاء من الآبار وكذلك فيما يستخرج
 من المعادن تستعمل ايضا في تحصيل القوة والمقاومة ونقطة الارتكاز
 الموضوعه كلها في مستور رأسي واحد يتجه عليه طرف الحبل الرموز اليه

برمز ب خ المربوطة بالمقاومة التي هي كأيمة عن ثقل معلق بحبل ب خ
 براد رفعه

وفي الصورة المستثناة اذا لم يكن $\overline{أ ح}$ وهو انجباء جزء الجبل المربوط فيه القوة رأسياً يكون ذلك الجبل على صورة مخنن يعرف بالسلسلة كما تقدم وقد سبق ايضاح خواصها في الدرس السادس من هذا الجزء

وحيث ان الجبل فيما عدا هذه الصورة يكون ملفوفاً على حلق البكرة فلا بد أن تكون شروط توازن هذا الجبل هي عين الشروط المذكورة في الدرس الرابع المعقود لتوازن الجبل المنتقى على السطح والمنسود من طرفيه بالقوى فعلى ذلك

يكون الشد الحاصل للجبل المذكور في جميع نقطه وهي $\overline{أ}$ و $\overline{م}$ و $\overline{ب}$ التي على محيط البكرة باقياً على حالة واحدة فاذا كانت القوة حيثئذ واقعة على نقطة $\overline{أ}$ مباشرة والمقاومة واقعة على نقطة $\overline{ب}$ مباشرة ايضاً لزم أن تكون هاتان القوتان متساويتين مهما كان اتجاههما

فاذا لم تكن القوتان المذكورتان واقعيتين مباشرة على هاتين النقطتين بل كانتا واقعيتين على بعد واحد من بعضهما وقطعنا النظر عن ثقل الجبل لزم أن تكونا متساويتين ايضاً بخلاف ما اذا لم تقطع النظر عنه بل اضفناه من جهة الى القوة ومن اخرى الى المقاومة فيلزم أن يكون المجموعان متساويين ليكون التوازن حاصل حول محور البكرة

وهذا مما لا بد منه في رفع الاحمال الى ارتفاعات عظيمة وكلما ازداد تأثير القوة هبطت مع الجبل الذي تشده واكسبت من ثقله جزءاً مساوياً بالضبط للجزء المطروح من جهة المقاومة وبناء على ذلك اذا كبرت القوة فانها تحدث للمقاومة تحركاً الى اعلى يعظم شيئاً فشيئاً حتى يكون خطراً

ولا جل تحصيل فاضل واحد بين القوة والمقاومة نستعمل سلسلة تعديل

كسلسلة $\overline{خ ن و}$ المربوط بها حمل $\overline{خ}$ المطلوب رفعه رأسياً ولنفرض أن هذه السلسلة والجبل المربوط به القوة والمقاومة متساويان في الطول الا أن السلسلة تكون ضعفه في الثقل فاذا شدت قوة $\overline{ح}$ الجبل

حتى يقلته الى $\overline{ح}$ فان جزء $\overline{اب}$ يزداد بقدر $\overline{ح ح}$ وجزء $\overline{ب خ}$
 ينقص بقدر $\overline{خ خ}$ وذلك ناشئ عن عدم نقصان شيء من مقاومة $\overline{خ}$
 وعن اكتساب قوة $\overline{ح}$ ضعف ثقل جزء $\overline{ج ب}$ $\overline{ح ح}$ وحيث ان مقاومة
 $\overline{خ}$ المذكورة ارتفعت بقدر $\overline{خ خ} = \overline{ح ح}$ فان جزء سلسلة التعديل
 وهو $\overline{ن ن}$ الموضوع على سطح افقي يرتفع ويصير رأسيًا ويثقل من
 جهة المقاومة لكن حيث كان $\overline{ن ن}$ مساويًا في الطول لكل من
 $\overline{ح ح}$ و $\overline{خ خ}$ كان ضعف كل منهما في الثقل فاذن تنكسب قوة $\overline{ح}$
 من جهة ضعف ثقل $\overline{ح ح}$ وتنكسب مقاومة $\overline{خ}$ من جهة اخرى
 ضعف هذا الثقل وبناء على ذلك يكون دائماً بين القوة والمقاومة فاضل واحد
 وذلك نتيجة مهمة في كثير من الصور

فاذا كان جبلا $\overline{ا ح}$ و $\overline{ب خ}$ (شكل ٢) متوازيين كانت محصلة
 قوتي $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ المتساويين موازية لاتجاهي $\overline{ا ح}$ و $\overline{ب خ}$
 ومارة بمحور القرص واذا لم تكن قوتا $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ المذكورتان
 (شكل ٤) متوازيين لزم أن تكون محصلتهما مارة دائماً بمحور القرص
 وهو $\overline{ث}$ ونقطة التعليق وهي $\overline{س}$ ولا يمنع ذلك من بقاء هاتين القوتين
 على التساوي واذا مددنا اتجاهي $\overline{ا ح}$ و $\overline{ب خ}$ حتى تقاطعا في نقطة
 $\overline{د}$ لزم أن تكون نقط $\overline{ث}$ و $\overline{س}$ و $\overline{د}$ الثلاثة على مستقيم واحد
 ويحدث من هذا المستقيم مع $\overline{ا ح}$ و $\overline{ب خ}$ اللذين هما اتجاهاه القوة
 والمقاومة زاوية واحدة

وإذا ارد معرفة الضغط الحاصل من قوتي $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ على $\overline{ث}$ التي
هو محور القرص فالتانعين محصلة $\overline{دش}$ من متوازي الاضلاع وهو
 $\overline{دهش ف}$ الذي يدل ضلعا على التساويان وهما $\overline{ده}$ و $\overline{دف}$ على
القوة والمقاومة وذلك أن $\overline{وتر دش}$ هو محصلة القوتين التجهيتين
على $\overline{دس ث}$ اعني الضغط الحاصل على محور القرص
وبإضافة هذا الضغط الى ثقل البكرة ينشأ الجهد الكلي الواقع على نقطة
الارتكاز وهي $\overline{س}$

وحيث كانت القوة في البكرة الثابتة مساوية دائما للمقاومة كان لا يمكن
استعمال هذه الآلة الا في تحويل قوة من اتجاه الى آخر بدون أن يتغير
مقدارها ولذا كانت البكرات المستعملة في ذلك تسمى باسم يلايها وهو
بكرات الرد لان الغرض منها ليس الازد القوية من اتجاه الى آخر

فاذا لم تكن قوتا $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ متساويتين فان صغراهما تعد من كبراهما
جراً بقدرها ويترك حينئذ قرص البكرة في جهة كبراهما بفضل القوتين
غير أن الضغط الحاصل من القرص او المحور على الجملة يكون مساويا لمحصلة
قوتين مفروض مساواة كل منهما للقوة الصغرى وعلى ذلك فيمكن أن يكون
تترك البكرة بطيئا جدا وان كان الضغط الحاصل على المحور عظيما جدا
ويكفي لذلك أن تكون القوة والمقاومة كبيرتين جدا لئلا يكون بينهما
اختلاف قليل وهذه هي قاعدة الآلة التي اخترعها المهندس $\overline{أورد}$
ليثبت بالتجربة قواين سقوط الاجسام التي تقدم ذكرها في الدرس الثاني
من هذا الجزء

ولتد نصفي قطر $\overline{شا}$ و $\overline{شب}$ (شكل ٤) عمودين على اتجاهي

$\overline{اح}$ و $\overline{بخ}$ فيكون مستقيم $\overline{اب}$ عمودا على $\overline{شش د}$

الذي يقسم زاوية ا ث ب الى جزئين متساويين فاذن تكون اضلاع
مثلثي د ه ش و ا ث ب متعابلة وعودية على بعضها ومن ذلك
يحدث هذا التناسب وهو

ح = خ : ر :: ده = دف : دش :: ا ث = ب ث : ا ب
وبناء على ذلك تكون في البكرة الثابتة نسبة القوة المساوية للمقاومة الى
ضغط ر الحاصل على قطعة الارثكاز كنسبة نصف قطر القرص الى وتر
ا ب الحاصر لقرص ا ب المحاط بجزء من الحبل الملقوف على القرص

(بيان البكر المتحرك)

اذا ايدلنا في البكر الثابت (شكل ٢ و ٤) النقطة الثابتة بقوة ر
المساوية للجهد الحادث على هذه النقطة من تأثير ح و خ كان التوازن
باقيا على حاله بين القوي الثلاثة وهي ح و خ و ر وانما يتغير البكر
الثابت بالبكر المتحرك (شكل ٣ و ٥) فيحدث اذن في البكر المتحرك
من قوتي ح و خ الواقعتين على طرفي الحبل المار بالقرص ومن قوة
ر الواقعة على الجملة هذان التناسبان وهما

$$\underline{\underline{ح}} = \underline{\underline{خ}} : \underline{\underline{ر}} :: \underline{\underline{ده}} = \underline{\underline{دف}} : \underline{\underline{دش}}$$

$$\underline{\underline{و}} \quad \underline{\underline{ح}} = \underline{\underline{خ}} : \underline{\underline{ر}} :: \underline{\underline{ثا}} = \underline{\underline{ثب}} : \underline{\underline{ا ب}}$$

وتبدل في العادة احدى قوتي ح = خ بنقطة ثابتة كنقطة خ فتكني
حينئذ قوة ح في موازنة مقاومة ر وقد يعبر عن التناسب الاخير بهذه العبارة
فيقال

ان نسبة القوة الى المقاومة في البكر المتحرك كنسبة نصف قطر القرص الى

الوزن الحاصر لقوس \overline{AB} المحاط بجزء من الحبل الملقوف على القرص ولهذه النسبة فائدة وهي أنه بوجهها يستغنى عن تركيب متوازي الاضلاع للقوى لأنها تتعلق بأصول هندسية مستعملة كثيرا ومعلومة الحساب في جداول مطبوعة تعرف باسم الجداول اللوغاريتمية والجيبية

ومع كانت قوتا \overline{C} و \overline{X} متجهتين بالتوازي (شكل ٣) لزم أن تكون مقاومة \overline{R} متجهة مثلهما وزيادة على ذلك تكون مساوية لمجموعهما وهو $\overline{C} + \overline{X}$ وهذا هو اعظم تأثير يمكن حصوله من هاتين القوتين بواسطة البكرة المتحركة لاجل شد الجمالة

وكما كانت الزاوية الحادثة من اتجاهي \overline{A} و \overline{B} (شكل ٥) منفرجة قص وتر \overline{D} لزم أن تكون مقاومة \overline{R} صغيرة اذا كانت قوة $\overline{C} = \overline{X}$ محدودة ولزم ايضا أن تكون قوة \overline{C} كبيرة اذا كانت \overline{R} محدودة

وقد سبق أنه يلزم عوضا عن استعمال قوتي \overline{C} و \overline{X} لتوازن مع قوة ثالثة كقوة \overline{R} (شكل ٣ و ٥) أن نربط غالبا احد حبلي \overline{A} او \overline{B} في نقطة ثابتة تكون متحملة للجهد الذي تحمله قوة \overline{X} التي يمكن توفيرها

مثلا في صورهما اذا كان الحبلان متوازيين (شكل ٣) تكون قوتا \overline{C} و \overline{X} متساويتين فيكون في حصول التوازن بين قوة $\overline{R} = \overline{C}$

$\overline{C} + \overline{X} = 2\overline{C}$ أن نستعمل قوة \overline{C} وحدها فيتوفر حينئذ النصف من استعمال القوة في تحصيل التوازن وهذا كما رأيت في تحصيل

بكرة ا ب ث المتحركة التي يعلق بها ثقل ر ثم يربط في نقطة خ الثابتة

ولیکن ح هو الشد والجهد الحاصل للجيل الشدود بقوة ح فلا جمل

أن يكون توازن البكرة الثابت بأقيا على حالة واحدة يلزم أن يكون ح = ح ثم لا جمل بقا توازن البكرة المتحركة على حالة واحدة يلزم عند مدور

ا ب في القرص من تقطى ا و ب التين يتقطع فيهما مس الجبل لهذا القرص تحصيل هذا التناوب وهو

$$\underline{\underline{ح}} = \underline{\underline{خ}} : \underline{\underline{ر}} :: \underline{\underline{ا ث}} : \underline{\underline{ا ب}}$$

وهو شرط بسيط

فإذا فرضنا (شكل ٧) أن هناك عذة بكرات متحركة مختلطة ببعضها

كان أولا جبل البكرة الاولى وهو خ ا ب ح ث مربوطا في نقطة خ الثابتة وفي نقطة ث التي هي مركز البكرة الثانية وثانيا يكون جبل البكرة

الثانية وهو خ ا ب ح ث مربوطا في نقطة خ الثابتة وفي نقطة ث التي هي مركز البكرة الثالثة وهلم جرا

فإذا كانت ح و خ و خ الخ هي الشدود الحاصلة من جبال ب ح و ب خ و ب خ الخ حدثت هذه المعادلات وهي

$$\frac{\underline{\underline{ا ب}}}{\underline{\underline{ا ث}}} = \frac{\underline{\underline{ر}}}{\underline{\underline{ح}}}$$

$$\frac{\underline{\underline{ا ب}}}{\underline{\underline{ا ث}}} = \frac{\underline{\underline{ح}}}{\underline{\underline{خ}}}$$

$$\frac{\text{ح}}{\text{ح}} = \frac{\text{أث}}{\text{أث}}$$

فأذن يكون

$$\frac{\text{أب} \times \text{أب} \times \text{أب} \times \text{أب} \times \text{أب}}{\text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث}} = \frac{\text{ح}}{\text{ح}} \times \frac{\text{ح}}{\text{ح}} \times \frac{\text{ح}}{\text{ح}} \times \frac{\text{ح}}{\text{ح}} \times \frac{\text{ح}}{\text{ح}}$$

ولنبه على أنه إذا قسمنا $\overline{\text{ر}}$ على $\overline{\text{ح}}$ ثم ضربنا خارج القسمة في $\overline{\text{ح}}$ تحصل معنا عدد $\overline{\text{ر}}$ وإذا قسمنا هذا العدد على $\overline{\text{ح}}$ و $\overline{\text{ح}}$ الخ ثم ضربناه في $\overline{\text{ح}}$ و $\overline{\text{ح}}$ الخ تحصل معنا هذا العدد بعينه فأذن لا يبق معنا الاكون مقاومة $\overline{\text{ر}}$ المقسومة على القوة الاخيرة وهي $\overline{\text{ح}}$ تساوى حاصل ضرب سائر النسب في بعضها وهي

$$\frac{\text{أب}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أب}}{\text{أث}}$$

وهذه الحسابات كما ترى مختصرة جدا فإذا كان وضع البكرات معلوما كانت

$$\text{نسب } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ و } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ و } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ الخ معلومة ايضا ويمكن حينئذ أن نعين}$$

القوة التي لا بد منها في موازنة مقاومة معلومة والمقاومة التي لا بد منها في موازنة قوة معينة

ومتى كانت سائر القوى متوازية (شكل ٨) كانت جبال $\overline{\text{أب}}$ و $\overline{\text{أب}}$ و $\overline{\text{أب}}$ الخ اقطارا لاقراص $\overline{\text{أبث}}$ و $\overline{\text{أبث}}$

و أَبْثَ الخ فلي ذلك تكون هذه الجبال ضعف انصاف اقطار
ا ث و أَث و أَث الخ فاذن تكون $\frac{2}{3} = 2 \times 2 \times 2$ الخ

بمعنى ان عامل ٢ يتكرر بقدر ما يوجد من البكرات المتحركة
 فاذا بحثنا في حالة الحركة عن نسبة المسافات التي قطعها القوة والمقاومة
 وجدنا المسافة التي قطعها مقاومة ر نصف المسافة التي قطعها
 قوة ح وهي على النصف من المسافة التي قطعها قوة ح وهي ايضا على
 النصف من المسافة التي قطعها قوة ح وهكذا وحيث تكون نسبة مسافتي
هـ و هـ المتين قطعهما قوة ح ٢ ومقاومة ر هي

$$\frac{5}{3} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 2$$

وهذه الانصاف تتكرر بقدر ما يوجد من العوامل التي هي

$$\frac{2}{3} = 2 \times 2 \times 2 \times \frac{1}{2}$$

وهذه هي النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة ثم اذا ضربنا هذين المقدارين
 في بعضهما حدث

$$\frac{5 \times 2}{3 \times 2} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times 2 \times \frac{1}{2} \times 2$$

المتحركة

$$1 = \frac{5 \times 2}{3 \times 2} \text{ يحدث حيث } 1 = \frac{1}{2}$$

وذلك يقتضي أن مقاومة ر مضروبة في مسافة هـ التي قطعها في زمن ما

وحيث ان الجبل يميز بالتوالي على ١ و ٢ و ٣ و ٤
 فاذا كانت جبال ر ب و ا ا و ر ب و ا ا و ر ب الخ
 متوازية كان الشد الحادث لكل منها مساويا للمقاومة مقسومة على عدد
 الجبال المذكورة ويغني أن لا نعد آخر افتات جبل ا ح لانه
 لما كان تأثيره مقصورا على البكر التاب كان لا يغير التوازن في شئ فاذن يمكن
 بدال ح بمساويتها وهي ح التجهة على امتداد ب ر وحيث
 يمتد جبال ا ح

وبناء على ذلك ينبغي أن لانهض من الجبال إلا ما كان مبدؤه البكرات المتحركة مباشرة بمعنى أننا نعد لكل بكرة متحركة حبلين إذا كان مبدؤه الحبل الجملة الثابتة (شكل ٩) وحبل واحد إذا كان مبدؤه الجملة المتحركة (شكل ١٠) وهذه الجبال على العموم متوازية تقريباً وربما اعتبرت في العمل متوازية بدون خطأ بين فاذ كان هناك عدد غير محدود من البكرات المتحركة كعدد ∞ فانه يحصل من الجبال ٢٢ في الصورة الأولى و ٢٢ + ١ في الصورة الثانية وهذه الجبال تكون فالسوية حاملة

للجهد الحادث من محصلة \overline{R} وكل منها يحصل $\frac{R}{r}$ وهو جزء من الجهد

او $\frac{R}{1+r}$ وهو جزء منه ايضا لكن $\overline{H} = \overline{H}$ هوشد \overline{B}

فاذن تكون قوة \overline{H} مساوية لمقاومة \overline{R} مقسومة على ضعف عدد البكرات المتحركة (شكل ٩) وعلى ضعف هذا العدد زائدا واحدا (شكل ١٠)

وفي هذه الصورة كالتى قبلها تسهل البرهنة على أنه اذا تحركت الالة قليلا كانت نسبة المسافتين اللتين قطعتهما القوة والمقاومة في زمن واحد كعكس نسبة هذه الاعداد

وذلك لانه متى هبط \overline{S} بكمية ما لازم أن تكون ابعاد \overline{B} و $\overline{B'}$ و $\overline{B''}$ الخ و \overline{A} و $\overline{A'}$ الخ متزايدة على حساب اطوال الهبوط

فاذن يكون الطول الكلى للبال من \overline{A} الى \overline{S} الخ متزايدا بقدر عدد الالحبال ويلزم حينئذ أن يكون جبل \overline{A} المعلوم هو الذى احدث هذا الطول فتقطع \overline{H} مسافة ذلك الطول فعلى ذلك اذا كان r (شكل ٩) هو عدد الالحبال فان نسبة مسافة \overline{R} الى التى قطعها \overline{R} الى مسافة \overline{H} الى التى

قطعها $\overline{H} :: 1 : r$

لكن $\overline{R} : \overline{H} :: r : 1$ فاذن تكون قوة \overline{R} مضروبة في المسافة التى قطعها \overline{R} تساوى قوة \overline{H} مضروبة في المسافة التى قطعها

\overline{H} الخ ويبرهن ايضا على هذه القاعدة بشكل ١٠

وتم نوعان من البكرات المركبة المعروفة عند العامة بالعبارات احدهما (شكل ٩ و ١٠) مركب من عدة اقراص بكرات موضوعة على محاور متفرقة مارة بحمالة واحدة وثانها مركب (شكل ١١ و ١٢) من عدة اقراص بكرات موضوعة على محور واحد مارة بحمالة واحدة وهذه

الاقراص متفرقة عن بعضها بفواصل ثابتة معتبرة كالجزم من الجمالة
ولكل من النوعين المذكورين منافع ومضار في النوع الاول تكون
اقراص كل عيار في مستوا واحد مع الحبل الذي يمر بالتوالي من عيار
الى آخر

وفي النوع الثاني يتغير مستوى هذا الحبل لاجل مروره من عيار الى آخر
بحيث ان جميع اجزائه الموجودة في احدى جهتي العيارين وان كانت متوازية
لا تكون موازية لجميع اجزائه الموجودة في الجهة الاخرى ولهذا الخلل
الناتج عن التوازي مضرة هي ميل الاقراص بالنسبة لمحاورها وذلك
يؤدي الى تغير عينها ووربما تغيرت المحاور ايضا بسبب زيادة الاحتكاك
ولا يكون هذا الضرر بينا متى كان العياران على بعد عظيم من بعضهما
بالنسبة لتباعد الاقراص عن بعضها على محور واحد بخلاف ما اذا قربا من
بعضهما فان الخلل الناتج عن التوازي يزداد ويحدث عنه مقاومات غير
لائقة

وفي هذه الصورة تكون منفعة الاقراص الموضوعة على محور واحد دون
منفعة الاقراص الموضوعة في حالة واحدة على محاور مختلفة

ولكن الاقراص في الصورة الثانية تشغل من المحال اكثر مما تشغله في الصورة
الاولى فاذا كان المطلوب مثل ارفع اجمال لزم لذلك آلة تكون فيها نقطة تعليق
العيارين مرتفعة عن المحل الذي يرتفع منه الحبل وهذا الار تقاع يكون
بالاقل قدر الطول الكلي للعيارين وربما عظم هذا الطول اذا كانت
كلتا الجمالتين محتوية على ثلاثة اقراص او اربعة وقد يعظم هذا الضرر
لا سيما اذا وصلنا الى اعلى طبقات المنزل وكان المطلوب رفع الاجار اليها * وعلى
الميكانيكي أن يختار من النوعين ما تقتضيه الاحوال

فاذا كان الغرض من العيارات التوصل بها الى ظهور مقاومة كبيرة على
قوة صغيرة وغلبتها لهما لزم أن يكون لها حبال كبيرة فبذلك تقطع القوة
مسافة كبيرة حتى تقطع المقاومة مسافة صغيرة وهذا هو التعديل العام الذي
هو كناية عن قاعدة تستنبط من تحريك سائر الآلات

* (بيان التناقل في البكرات) *

إذا اعتبرنا البكرات اجساما ثقيلة واريدها تحصيل مقدار الجهد \bar{H} ينفع على نقطة

\bar{X} الثابتة (شكل ٥) المتعلق بها البكرة المفروض تحركها في الفراغ

بلامعارض فانه يلزم اخذ المحصلة العمومية لقوة \bar{H} ومقاومة \bar{R}

وثقل جبل \bar{H} \bar{A} \bar{B} \bar{X} والبكرة بتمامها فاذا كانت \bar{M} هي ثقل البكرة

بتمامها \bar{W} \bar{D} ثقل الحبل حدث اربع قوى وهي \bar{M} و \bar{W} و \bar{H} و \bar{X}

تكون محصلتها مساوية ومضادة لمقاومة \bar{R} لاجل حصول التوازن

ثم اذا لاحظنا ما يترحول \bar{T} الذي هو محور البكرة وجدنا هذا المحور

يتحمل أولا جهد \bar{H} و \bar{X} وثانيا ثقل قرص البكرة وثالثا ثقل

حبل \bar{H} و \bar{B} \bar{X} في صورة ما اذا كانت القوة تؤثر من اعلى الى اسفل

كما في شكل ٤ وحيث اذا كان \bar{M} هو ثقل القرص الذي يكون مركزه

في \bar{T} لزم أن يكون لقوى \bar{M} و \bar{W} و \bar{H} و \bar{X} محصلة كلية

مارة بمحور \bar{T} ومساوية للضغط الحاصل من القرص على المحور

وعما يسهل مشاهدته أن ثقل القرص لا يغير شيئا من نسب \bar{H} و \bar{X}

بالنظر للتوازن لكن كلما كان هذا الثقل عظيما كان متعبا للصور ونشأ عنه

احتكاكا كالتيلزم أن يكون ثقل القرص صغيرا مهما امكن متى كان الغرض

أن البكرة تؤثر تأثيرا عظيما ما امكن

واما الحبل (شكل ٤) فانه في صورة ما اذا كان ثقله محجولا على المحور يكون

حل هذا المحور قليلا بقدر ما يكون ذلك الحبل خفيفا

وما ذكرناه في هذا الشأن له اهمية عظيمة في استعمال الحبال والبكرات

في جوانب السفن واذا قطعنا النظر عما يتحصل من الوفر العظيم في كمية

ما يستعمل من المواد في اقراص البكرات والحبال المارة بها يلزم لقلبة

المقاومة والقوة رعلما بقوة اصغر منها أن تكون الجبال والاقراص خفيفة
جدا

واذا كان المطلوب عمل اقراص معدنية خفيفة جدا لزم مزيد الاهتمام
في تجويفها من بين الخلق والمحور بواسطة تصاليب متفرقة كتصاليب عجلات
العربات او فواصل رقيقة تجمع بين الخلق ومركز الدولاب كما في شكل ١٣

فاذا تحركت البكرة (شكل ٥) كان الجزء الاول من القوة وهو ح
موازنا لسائر المقاومات والجزء الثاني منها وهو ح' محز كالجبل والقرص
ومقاومة ر بكمية يدل تأثيرها على جميع ما لم تعدمه مقاومات الالة

ولكن هذه الكمية تقاس أولا بالمسافة التي قطعها ح وثانيا بمجموع
حواصل ضرب ثقل الجبل في المسافة التي قطعها هذا الجبل في جهة طوله
وثالثا بمجموع حواصل ضرب ثقل كل جزء من القرص في المسافة التي
قطعها هذا الجزء فحينئذ يلزم تعيين هذا الجزء الثالث

واذا قسمنا القرص الى مناطق متساوية العرض وجدنا ثقلها مناسبا بالضبط
لانصاف اقطارها فاذا قطعنا قرصين متحدى السمك ومختلفي القطر كان حجم
كل منهما مناسبا لمربع قطريهما واذا قسمنا هاتين الدائرتين (اعني القرصين)
الى اجزاء صغيرة مجموعها على نسبة واحدة وفي اوضاع متشابهة كان مربع
بعد المحور عن الاجزاء المتقابلة الموجودة في القرصين مناسبا لمربع نصفي
قطريهما فاذا ن يصير حاصل ضرب حجم كل جزء في بعده عن المحور مناسبا
لمربع القطر مضروبا في القطر فسه اعني انه يكون مناسبا لمكعب قطر هذين
القرصين وعلى ذلك فتكون كمية التحرك الحادثة في كل من القرصين مناسبة
لمكعب قطره وهذا بالنظر الى سرعتهم المنزوية فاذا زادت تلك النسبة كثيرا
مع قطر القرصين لزم جعل الاقراص في البكرات الكبيرة صغيرة الحجم ما يمكن
وهذه الفائدة يمكن تحصيلها من استعمال الجبال التي ليس لها بالنظر الى قوة
مقروضة الا قطر صغير قليلا لمزيد جودتها وبالجملة فيمكن أن يكون عرض

القرص اقل من قطر الجبال لثلاثي تلك الجبال من احتكاكها بجوانب
الثقب الذي هو محل القرص في صندوق البكرة

فلذا استعملنا من الجبال ما لا مقاومة له اصلا عند الاثقال على حلق البكرة
فكلما كان قطر القرص صغيرا قل أن توجد قوة معدومة لاجل الظهور
على اينرسي هذا القرص عند تحريك القوة للمقاومة غير أن شد الجبال مقاومة
عظيمة يلزم الاهتمام بتقويمها ومعرفة مقدارها

وسأني أن كلب الذي هو من مشاهير علماء الطبيعة عين المقاومة التي
تعرض لتحرك البكرات من شد الجبال

ثم ان شوحية ١١ (شكل ١٤) تحمل اقلا سطح ح ح الكبير
بواسطة جبل الاختبار وهو ث ث الذي يدور مرتين من جهتي الجين
والشمال على ملف ب ب المتحرك وتعمل ثانيا سطح خ الصغير
بواسطة جبل ث ث الصغير الذي يدور مرتين او ثلاثا على ملف ب ب
في جهة مقابلة لجهة ث ث وينبغي الاهتمام بمنع الجبال عن مماسة
بعضها ليحصل التأثير على وجه سهل

وقد يميل ملف ب ب الى الهبوط بسبب التأثير الناشئ اقلا عن ثقله
الاصلي مع ذراع رافعة يساوي نصف قطر ذلك الملف وثانيا عن ثقل سطح
خ مع ذراع رافعة يساوي قطر الملف المذكور فيمكن حينئذ اضافة نصف
ثقل الملف الى ثقل حمل خ لاجل تحصيل قوة واحدة تؤثر بواسطة ذراع
رافعة يساوي قطر الملف فاذا كان ثقل الملف كبيرا نقص تأثيره بثقل ح
المربوط في طرف جبل ث ث المار بكرة الرد وهي ر وكل وحدة من
ثقل ح توازن وحدتين من ثقل الملف

وقبل اختبار جبل ث ث المراد قياس شدة يرتقي حتى يكون تقريرا
كالجبال المستعملة عادة في الالات ونترجى جبل ث ث من فوق حلق
البكرة ونربط في احد طرفيه ثقلا كافيا ثم يشد اناس طرفه الاخر فيرفعون

هذا الثقل او يحتضونه فبذلك يزول ما يوجد من الخلل في شد الحبال الجديدة التي تنفع من حصول النتائج المطلوبة

فاذا احتسنا بهذه الاحتراسات في منع الخلل عرقنا ثقل خ الذي لا يتعمه لهبوط ملف ب ب ولظفر بمقاومة جبل ث ث ورأينا أنه بواسطة شدة عظمية تكون تقريبا القوة اللازمة لثني الحبال على الاسطوانات المختلفة القطر أولا على نسبة مطردة بالنظر لشدة الحبال ومنعكسة بالنظر لقطر الملقات وثانيا تكون على نسبة مطردة بالنظر لربع قطر الحبال وهذه النسبة تقرب من الصحة بقدر غلظ الحبال

(والمقاومة الحادثة عن شد الحبال مركبة من جزئين احدهما ثابت والاخر اخذ في الزيادة بالنسبة للعمل ولا يمكن أن تكون الكمية الثابتة منسوبة الا الى الدرجات المختلفة التي تكون لشد الحبال والتوائها العارض لها عند عملها ويكون كل من فروع الحبل مشدودا بقوة على حدته ومحافظا على درجة شدة عند التواء هذا الحبل لان تلك الفروع المتلاصقة والمتعشقة ببعضها متماسكة بالاحتكاك وعلى ذلك فكل فرع من حبل مربوط به ثقل يكون مشدودا بنسبة تلائم ما يخصه من الثقل وما يعرض له من الالتواء عند ثني الحبل لكن اذا كانت القوى اللازمة لثني الحبل مناسبة للشدود كانت تلك القوى مناسبة لكمية ثابتة زيادة على الثقل المربوط بالحبل وهذه الكمية الثابتة تتغير مع درجة الشد والالتواء العارضين للحبال عند عملها واما الحبال الجديدة المفتولة ثلاث مرات فتكون فيها تلك الكمية تابعة مع الصبط الكافي لنفسية مر يعبات اقطار الحبال فاذا استعملت الحبال زمنا طويلا ارتخت فروعها وتاقصت فيها الكمية الثابتة الناشئة عن شدتها الاصلی)

واذا قابلنا مقاومات القطن بمقاومات الحبال الصغيرة وجدناها اقل مما تدل عليه نسبة المربعات وذلك أن قطر البت المركزي يتزايد في الحبال الغليظة بدون أن تزيد المقاومة بنسبة واحدة عند الاتناء وحيث أنه في القطن الغليظة أن تكون جميع الفروع مشدودة مع التساوى كالحبال الرفيعة لان الحبال

المشدودة كثيرا هي التي تقاوم كثيرا بخلاف غيرها من الجبال فانها تلين بمجرد لها من غير جهد

ويلزم تعيين التأثير الذي يعرض لشدة الجبال حين رطوبتها وشم اشغال كثيرة لاسيما ما كان منها متوقفا على شدة الهواء كسير السفن والامطار وامواج البحر وغير ذلك يقتل فيها الجبال وتتغير طبيعتها بحيث تكون على حالة تباين بالكلية حالتها وهي جافة

ويرى بمجرد النظر أن شدة الجبال لاسيما اذا كانت غليظة يزيد زيادة ينة متى كانت مبلولة بالماء وترى في شكل ١٤ صورة الآلة التي تدل على أن هذا الزيادة تقاس بكمية ثابتة مهما كان الحمل الذي تحمله الجبال

وقد علمت تجار يبه ^{تكتب} الاولية في الجبال البيضاء وعمل غير الاولية منها في الجبال المقطرة (اى المدهونة بالقطران) فوجد أنه يلزم في هذين النوعين مهما كان الشدة اضافة كمية ثابتة الى الجهودات التي لا بد منها في ثنى الحمل المقروض انه ابيض جاف وليس بينهما كبير فرق كما قد يتوهم وذلك لان شدة الجبال المقطرة لا يفوق على شدة الجبال البيضاء الاجتهاد ^١

ومثل هذا الفرق مهم جدا لشهرته في العمليات وقد تستعمل الجبال البيضاء اذا اقتضى الحال استعمالها في البكرات والطناير ولو كانت بذلك عرضة لشدة الهواء فحينئذ تجد ما ينشأ عنها في القوى المحركة من توفير اجرة الشغالين يعادل ما يصرف فيها حين تبلى سريعا

وقد دلت التجربة على أن الحمل القديم للقطران يكون شدة كشد الحمل الجديد المقطران قريبا ثم وان كانت خيوط القنب يقل اشتدادها عند البلا الا أن تعرضها للهواء والمطر يحمدا للقطران فيعادل تأثيرها تأثير الجديدة

وقد ذكر ^{تكتب} قواعد حصرية سهلة تتعلق بتطبيق ما استنبطه من النتائج على تقويم المقاومة وتقديرها عند اقضاء الجبال المتنوعة على الاسطوانات او البكرات المعلومة الاقطار لكون شدودها معلومة ايضا واذا اردت الوقوف على هذا التطبيق فعليك بكتاب هذا العالم الشهير

وقد علمت تجارب الجبال القطرنة في فصل الشتاء حين كان ترمومتر ريو مور مرتفعا عن الانجماد بخمس درجات اوسمة قطهر أن الجليد يزيد في شدة هذه الجبال لاسيما اذا كانت غليظة القطر وقد علمت ايضا تجربة الجبل القطرون المؤلف من ١٥ فرعا حين كان الترمومتر منخفضا عن الانجماد باربعة درجات فوجد أنه يستلزم قوة اكبر (بسلم تقريبا) مما اذا كان الترمومتر مرتفعا عن الانجماد بست درجات الا أن هذه الزيادة ليست تابعة للنسبة الاحمال لان الجزء الثابت من المقاومة في هذه الصورة هو الذي يزيد زيادة ينة

وهنا تنبيه يتعلق بسائر التجارب السابقة وهو انه متى كانت الجبال مثقلة باثقال ورفع ملف **ب ب** (شكل ١٤) بأن ادير بقوة الذراع ثم خلى ونفسه فسقط في الحال قل شد الجبل بحيث يكون على الثالث مما في تلك التجارب وهذا عام في سائر الجبال سواء كانت يضاء او مقطرة قديمة او جديدة غير أنه في الفليضة والجديدة يكون اظهر مما في البالية والرفيعة وكذلك يكون اظهر في الملفات الصغيرة من الكبيرة لكن اذا تركنا تلك الجبال ساكنة مدة من الزمن ورفعنا الملف من غير أن نخفضه وجدنا شد الجبل يزيد زيادة ينة لكن لا يصل الى الحد الذي حذمه **ك ل** في تجاربه الا بعد أن يسكن ٥ دقائق او ٦ وعليه ففي التحرك المتعدد الذي تكون فيه القوى معدة لرفع الثقل وخفضه كما في تأثير آلات الدق المعدة لرفع الكبس او الشا مردان المستعمل لدق الخواير في الارض يكون شد الجبل اقل مما في التجارب المتقدمة ومن هذا القبيل الجبل الذي يميز كرتين متجاورتين * ولكيلا يكون التحرك سريعا يلزم أن تكون القوة المستعملة في التفريش شد الجبل عند التواءه على البكرة الثانية دون القوة المستعملة في ثيقه على البكرة الاولى وان كانت درجتها واحدة بالنظر للشد

ويؤخذ من التنبيه المذكور أن الاجراء المثنية تأخذ في الاستقامة مع البطئ وأن الشد كبيرا كان او صغيرا يكون على حسب هذه الاستقامة

وزيادة على ذلك يلزم العمل بمقتضى هذا التنبيه في حساب آلات البحارة
البطيئة التحرك بظا كافيا والتي بكراتها دائما على مسافات كافية من بعضها
ليكون كل جزء من اجزاء الحبل عند مروره من بكر الى آخر مستوفيا للزمن
الذى يستكمل فيه شدة وعلى ذلك فلا بد في تقويم الآلات غالبا من حساب
المقاومات بالنظر للحالة التى تضرب بالقوى المحركة

ثم ان الحواصل المكتسبة من الآلة المرسومة في شكل ١٥ تثبت الحواصل
المكتسبة من الآلة المرسومة في شكل ١٤

وذلك اتنا وضعنا صفاتى $\overline{ط ط}$ و $\overline{ط ط}$ الحاملتين للوحى $\overline{د د}$ و $\overline{د د}$
ووضعنا ايضا للوحى $\overline{م م}$ و $\overline{م م}$ القليطين في موضع ضيق وجعلنا اعلامهما
اقتيا واصلحنا ماصلا تاما فكان بينهما فرجة طولية

ولم نزل نضع بالتوالى ملفات متنوعة على قاعدتين من البلوط حتى صار محور
هذه الملفات (شكل ١٥) عوديا على هاتين القاعدتين اللتين اطرافهما
مستديرة وحيث انهما على غاية من التساوى علقنا في طرفي الملف اثقالا قدرها
٢٥ كيلوغراما بخيوط من الدبارة اللينة التى تبلغ دورتها ٤ ميليمترات
ونصفا ولا يبلغ شذها جزءا من واحد من ثلاثين من شذ الحبل المركب من ٦
فروع وقد يحصل ضغط معين على القاعدتين بواسطة عدة خيوط من الدبارة
الموزعة على الملفات كل منها يحمل ثقالا يبلغ ٢٥ كيلوغراما في طرف
كل ملف من تلك الملفات وبواسطة ثقل صغير يعلق بالتعاقب في جهتي الملف
نختبر القوة التى تحرك هذا الملف تحريكاً مستمرا غير محسوس او تظفر أولا

بشد حبل شت وثانيا باحتكاك الاسطوانة

وشذ الحبل دائما على نسبة منعكسة من قطر الاسطوانة

واما احتكاك الاسطوانة $\overline{ب ب}$ الحاصل على مستوافق فهو على نسبة
مطردة بالنظر للانضغاطات ومنعكسة بالنظر للقطر فعلى ذلك كلما كان قطر
الاسطوانات التى لها ثقل واحد كبيرا كانت مقاومة الاحتكاك صغيرة

ومثل ذلك واضح غالباً ويكثر في اشغال الزراعة استعمال الاسطوانات التي
يداس بها على الاراضي المزروعة لتكسيرا فيها من المدر وتفتيته ودرس
الحشائش التي عليها حتى تصير رفيعة ومساوية لحجم الارض ولا بد من تقبض
مقاومة الاحتكاك بقدر الامكان بحيث يمكن للقرس الواحد أن يجز يدون
منقطة اسطوانة طويلة او ثقيلة وهذا جار في انكثرة قري الانكليز
يستعملون اسطوانات بحجوفه من الحديد الصب جامعة بين الصلابة والخفة وكبر
القرس وحيث انه في الاسطوانات المتساوية الحجم يكون مقدار انيرمي المخوف
منها اكبر من مقدار انيرمي المصمتة فان القوة المكتسبة من الاسطوانة تتغير
في ادنى النسب واصغرها بالموانع التي يلزم أن تقاومها الاسطوانة وتظفر بها
ويجري مثل ذلك في استعمال العجلات في النقل على اختلاف انواعه

وحيث انتهى الكلام على الاحوال الاملية المتعلقة بتوازن البكرات
المستعمل كل منها على حدة او مع بعضها بطرق مختلفة فاسب أن تقتصر على
طرق صناعة هذه الآلات فتقول ان عمل البكرات من اهم فروع الصناعة
لا سيما عند البحارة وله كيفية مخصوصة وبطلق اسم البكرات على صناعات
هذه الآلات

ولم تعرض في كتابنا هذا لذكر البكرات المعدنية التي تصنع اجزاؤها الاصلية
بقوالب مخصوصة معينة مع الاهتمام ومصنوعة على منوال الاشياء التي
يصنعها البحارون مع الضبط والاحكام ومسبوكة من الحديد والنحاس
ومشغولة على حسب قواعد صحيحة مضبوطة بل اقتصرنا على بيان صناعة
البكرات الخشبية من الخشب ولتذكر ذلك فتقول

تصنع بكرات الخشب بعمل قرصها بالنشار والمخرطة وصندوقها بالآلات القطع
الشبيهة بالآلات النجار وصانع القباقيب وقد يصنع بالآلات أخرى صناعة
مفيدة وهو مركب من اربعة وجوه كل اثنين منها موازيان لمستويي التماثل
الذين احدهما مواز لمستويات الاقراص والاخر عمود عليها

وقد اخترع بروينل الميكانيكي وهو من علماء القرن سابعة لاجل عمل الوجوه

المذكورة كاجزاء الاسطوانة المستديرة طريقة بدیعة في صناعة ذلك وهي أن
 تثبت على محيط عجلة كبيرة قطعاً من الخشب مجوفة تجويفاً مربعاً وملازمة
 للبكرات المطاوعة في الطول والعرض والسلك وبعد تثبيت تلك القطع على المحيط
 المذكور تثبيتاً جيداً ندير ذلك المحيط على وجه بحيث يكون تحركه منتظماً
 ثم نصنع الوجه الخارج لكل قطعة ويكون كل وجه من هذه الوجوه على
 شكل قوس اسطوانة قائمة مستديرة محورها هو عين محور العجلة وبعد ذلك ندير
 من الزاويتين القائمتين كل قطعة من قطع الخشب بحيث نصير وجوها
 الخارجة داخلية بالنسبة للدائرة التي تحملها ثم نحرك العجلة الكبيرة ونصنع
 وجوه القطع التي صارت خارجية ثم نأخذ هذه للقطع ونضعها على عجلة
 جديدة قلها قطر موافق وعند ذلك نصنع في كل صندوق الوجهين اللذين لم يصنعا
 وتكون صناعتها على شكل قوس اسطوانة مستديرة تقصف قطرها مابين
 لنصف قطر الاسطوانة السابقة وتكون ملائمة لصورة الصندوق

فتكون القوة الممركة على طريقة بروينل حادثة من آلة بخارية وقد تكون
 حادثة من دوران التحليل او من قوة الماء او من قوة الناس والمطلوب لنا هنا هو
 تفاصيل العجلة وتحركها المستدير

وهناك صناعة اخرى لا بد منها وهو عمل الثقوب ذات الوجوه المستوية التي
 يوضع في كل منها قرص بكرة وهذه الصناعة اذا حصلت بالكيفية المعتادة
 بالمطرقة والمقراض كانت بطيئة صعبة بخلاف ما اذا كانت بمنقباب تنقب به
 في طرف من اطراف الاقراص ثقباً اسطوانياً في جهة محل القرص يكون
 قطره مساوياً بالعرض هذا المحل ثم ننشر بمنشار رفيع جداً داخل في هذا الثقب
 من جهتي البين والتعمال جزءاً من الخشب المراد ازالته لاجل عمل محل القرص
 فانها بهذه الطريقة تكون سهلة

ولامانع من أن نستعمل في ذلك مقراضاً يكون له بواسطة قوة مستمرة
 تحرك متردد وهذه الطريقة هي التي اختارها العالم هو يورت احد مهندسي

البحارة

فإذا كانت البكرات تتحمل انضغاطا عظيما فان الضغط الذي يقع على محورها من قرص البكرة يكون قويا وينشأ عن ذلك من جهة أن هذا المحور ينبري وتغير صورته ومن أخرى أن الثقب المصنوع في قرص البكرة لاجل مرور المحور منه يتسع اتساعا غير متساو ما لم تكن قوة القرص واحدة في سائر الجهات وبمعظم هذا الخلل في البكرات التي تكون محاورها واقراصها متخذة من الخشب ولو كانت المحاور من خشب صلب كالخشب الأخضر والاقراص من خشب آخر يعادله كخشب الانبياء

والاولى استعمال الجواهر المعدنية في المحاور والاقراص وقد عملت اقراص من حديد السبك شهيرة بجفتها وتواصل اجزائها ويستحسن عادة أن تكون المحاور من الحديد والاقراص من الخشب وأن يحيط بمراكزها حلقة من النحاس بها فتحة مستديرة قطرها منطبق على قطر المحور انطباقا تاما

ثم ان فن تجويف الاقراص المتخذة من الخشب لاجل وضع لقمة من نحاس فيها هو من الاعمال الدقيقة اللطيفة التي يمكن اجرائها على وجه تام بطرق ميكانيكية منتظمة كما يمكن عملها باليد وفي طريقة آلة برويل المتعلقة بصناعة البكرات كيفيات عظيمة في عمل اللقمة وتجويف محل في القرص لاجل ادخال اللقمة فيه

وينبغي أن يكون وضع لقم البكرات في التجويف المعد لها على غاية من الاحكام ثم يمت بصقها به بحيث تكون ملتصمة به التماسا جيدا ولا يشترط أن تكون هذه اللقم متفقة في الصورة وانما يلزم أن تكون صورتها مباينة بالكلية لصورة الدائرة ليحصل منها نهاية ما يمكن من المقاومة عند الدوران في القرص لان اللقمة اذا دارت بهذه المثابة يعدم تحزكها الصلابة الناشئة عن احكام وضعها و ثم لقم مربعة واخرى مثلثة ولقم برويل على شكل زهر الربية مركبة من ثلاث دوائر مراكزها على بعد واحد من بعضها

(الدرس العاشر)

(في بيان التجنيق والطارات المضرسة)

المنجنيق (شكل ١) مركب من اسطوانة كاسطوانة $\overline{أ ب د}$ وطارة مستديرة كطارة $\overline{هـ ف}$ ولهما محور واحد وهما مثبتان ببعضهما بحيث لا تدور الطارة بدون أن تجذب الاسطوانة عند تحركها وهذه الاسطوانة يحملها طرفا المحور وهما $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ اللذان يدوران في تقعين مستديرين على مسندين ثابتين وعلى تلك الاسطوانة يلتف حبل مثبت من احد طرفيه ومربوط في طرفه الآخر مقاومة كقوة $\overline{ر}$ فتكون قوة $\overline{ح}$ حيثند واقعة على محيط الطارة

وفي هذه الالة تسهل معرفة النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة لانه يلزم لاجل دوران الاسطوانة على محورها أن يكون مقدار مقاومة $\overline{ر}$ مساويا للمقاومة قسما مضروبة في نصف قطر الاسطوانة

ويلزم لاجل دوران الطارة أن يكون مقدار قوة $\overline{ح}$ مساويا لتلك القوة قسما مضروبة في نصف قطر الطارة

ولاجل حصول التوازن يلزم امران الاول أن يكون المقداران المذكوران مؤثرين في جهتين متضادتين والثاني أن يكونا متساويين وهذا هو السبب

في اهتمامهم دائما بإدارة طارة $\overline{هـ ف}$ في جهة مضادة لاتجاه مقاومة $\overline{ر}$ التي يراد التغلب بها

ولنفرض الآن أن المطلوب تعيين الضغطين الحاصلين على $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ اللذين هما طرفا المحور واصبعا الاسطوانة

فاذا كانت قوة $\overline{ح}$ مارة بمحور الاسطوانة وكانت تقطعنا $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ موجودتين في مستوى هذه القوة امكن بدون واسطة تحليل قوة $\overline{ح}$ الى قوتين موازيتين لها ومائتين بنقطتي $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ على التناظر

فاذا لم تكن قوة $\overline{ح}$ مارة بمحور الطارة فلامنع من تحليلها كما تقدم (في الدرس الخامس شكل ١٦) وهذا بالنظر الى قوة $\overline{أ س}$ التي لم تمر بمركز ثقل الجسم الذي حر كته

فلنفرض اذن عوضا عن قوة \bar{H} أولا قوة \bar{H} المساوية والموازية لها
والمارة بنقطة \bar{O} التي هي مركز الطارة وثانيا قوتين مساويتين $\frac{1}{2} \bar{H}$
ومتجهتين على وجه بحيث يديران الطارة في جهة واحدة ويؤثران في طرفي
قطرها ولما كان تأثيرا تين القوتين اتعاهولاجل دوران الطارة على مركزها
بدون أن يدفع ذلك المركز الى اى جهة كانت لم يدفع ايضا مسندى \bar{M} و \bar{N}
الى اى جهة كانت

فحيث يكون ضغطا \bar{H} و \bar{H} الحاصلان على مسندى \bar{M} و \bar{N}
حادثين من قوة \bar{H} المساوية والموازية لقوة \bar{H} والمؤثرة في نقطة \bar{O}
التي هي مركز الطارة تأثيرا يكون على مستقيم واحد مع هذين المسندين
فاذن تحدث هاتان المعادلتان وهما

$$\bar{H} = \bar{H} + \bar{H} \text{ و } \bar{H} \times \bar{O} = \bar{H} \times \bar{O} \text{ و } \bar{N} \times \bar{O} = \bar{H} \times \bar{O}$$

$$\text{او } \bar{H} \times \bar{M} = \bar{H} \times \bar{O} \text{ و } \bar{H} \times \bar{N} = \bar{H} \times \bar{O} \text{ و } \bar{H} \times \bar{M} = \bar{H} \times \bar{N}$$

وبمثل ذلك يبرهن على أن مقاومة \bar{R} تحدث على مسندى \bar{M} و \bar{N}
ضغطى \bar{R} و \bar{R} بحيث تحدث هاتان المعادلتان وهما

$$\bar{R} = \bar{R} + \bar{R} \text{ و } \bar{R} \times \bar{O} = \bar{R} \times \bar{O} \text{ و } \bar{N} \times \bar{O} = \bar{R} \times \bar{O}$$

$$\text{او } \bar{R} \times \bar{M} = \bar{R} \times \bar{O} \text{ و } \bar{R} \times \bar{N} = \bar{R} \times \bar{O} \text{ و } \bar{R} \times \bar{M} = \bar{R} \times \bar{N}$$

وحرف \bar{O} هنا يدل على النقطة التي يكون فيها اتجاها مقاومة \bar{R} ساقطا
سقوطا عموديا على محور الاسطوانة

ويؤخذ من هذه المعادلات مباشرة أن

$$\bar{H} = \frac{\bar{H} \times \bar{O}}{\bar{M} \times \bar{O}} = \frac{\bar{H} \times \bar{O}}{\bar{N} \times \bar{O}} = \frac{\bar{R} \times \bar{O}}{\bar{M} \times \bar{O}} = \frac{\bar{R} \times \bar{O}}{\bar{N} \times \bar{O}}$$

وهذه مقادير بسيطة سهلة الحساب

فاذا كانت قوتا \bar{H} و \bar{R} مارتين بنقطة \bar{M} وقوتا \bar{H} و \bar{R}

مارتين نقطة $\overline{ن}$ سهل تحصيل محصلها وهي الضغط الكلي الحاصل على مسندى $\overline{م}$ و $\overline{ن}$ من القوة والمقاومة

ثم ان اسهل الصور في هذا المعنى واعما هو ما كانت فيه قوة $\overline{ح}$ موازية لمقاومة $\overline{ر}$ فعلى ذلك تكون $\overline{ح}$ و $\overline{ر}$ و $\overline{خ}$ و $\overline{ز}$ متوازية ايضا وتكون محصلة $\overline{ح}$ و $\overline{ز}$ هي $\overline{ح} + \overline{ز}$ ومحصلة $\overline{خ}$ و $\overline{ز}$

هي $\overline{ح} + \overline{ز}$ وهذه هي الصورة التي يقع فيها على المسدين اعظم ضغط يمكن بالنظر لمقادير مفروضين للقوة والمقاومة

فاذا لم تكن القوة والمقاومة متوازيتين فان $\overline{ح}$ و $\overline{ز}$ و $\overline{خ}$ و $\overline{ز}$ لا تكون ايضا متوازية ابدا فتكون $\overline{م س}$ هي محصلة $\overline{ح}$ و $\overline{ز}$

و $\overline{ن س}$ هي محصلة $\overline{ح}$ و $\overline{ز}$ وذلك بواسطة متوازي الاضلاع للقوى

المينة بمستقيمت $\overline{م ح}$ و $\overline{م ز}$ و $\overline{ن ح}$ و $\overline{ن ز}$

وحيث كانت القوة دائما واقعة على مستوى الطارة فان الضغط الحاصل منها للمسدين يقع على حاله لا يتغير لكن اذا كانت المقاومة حاصلة في طرف الحبل الذي يلف او يفتر تدريجا بحيث يتكون منه حلزون على اسطوانه المنحنيق فان تلك المقاومة تنقل تارة الى احد المسدين واخرى الى الاخر وبذلك يزداد الضغط الحاصل على المسند الاول لينقص الضغط الحاصل على الثاني وهذا بحسب النسب المتقدمة وحيث ان كانت المقاومة مجاورة بالكلية لاحد المسدين فانها تحدث عليه ضغطا يكاد يكون مساويا لقوته الكلية بخلاف الضغط الحاصل على المسند الاخر فانه يكاد يكون معدوما متى كانت المقاومة على بعد واحد من المسدين صار الضغطان متساويين

هذا ويلزم عمل التجنيق على وجه بحيث تكون صلابته كافية لان يقاوم مسنداه اعظم ضغط ممكن

ثم ان التجنيق كغيره من الآلات المتقدمة التي اختبرنا تأثيرها بقطع فيه النظر

عن ثقل الآلة ويقطع النظر ايضا عن قطر الحبل المقروض انه صغير جدًا
والاوجب أن تكون قوة $\overline{ح}$ ومقاومة $\overline{ر}$ واقعتين على اتجاه محور الحبل وبناء
على ذلك يضاف الى قطري الاسطوانة والطارة نصف قطر الحبل المستعمل

وبالجملة ففى اثر قوة $\overline{ح}$ (شكل ٢) على حبل $\overline{أ ب ح}$ الذى له
سمك معين وشدت جميع اجزائه بالسوية فان هذا الحبل يكون مستديرًا وتكون
محصوله سائر الجهود الناتجة الحاصلة فى كل جزء على كل فرع من الحبل مائة بمركز
هذا الحبل واذن يمكن أن نعتبر قوة $\overline{ح}$ المحاولة لاجل التأثير فى جميع فروع
الحبل كأنها واقعة على محور الحبل المذكور وحيث أن يكون مقدار هذه القوة
مساويًا $(\overline{ث} + \overline{١١}) \times \overline{ح}$ اعنى انه يكون مساويًا لنصف قطر
الطارة زائدًا نصف قطر الحبل مضروبًا فى القوة

فاذا اعتبرنا الآن تأثير حبل $\overline{ر}$ المشدود من احد طرفيه بمقاومة $\overline{ر}$
والملقوف من الطرف الآخر على اسطوانة $\overline{ث}$ ظهر لنا بهذين الامرين
أن تأثير قوة $\overline{ر}$ الحاصل على الاسطوانة هو كناية عن مقدار $(\overline{ث} +$
 $\overline{+} \overline{ر}) \times \overline{ر}$ أى نصف قطر الاسطوانة زائدًا نصف قطر الحبل
مضروبًا فى المقاومة المؤثرة فى هذا الحبل

وعلى ذلك ففى المجهنق الذى نصف قطر طارته $\overline{ث أ}$ ونصف قطر اسطوانته
 $\overline{ث ب}$ ونصف قطر حبله المشدود بقوة $\overline{ح}$ المؤثرة فى الطارة $\overline{١١}$
ونصف قطر حبله المشدود بقوة $\overline{ر}$ المؤثرة فى الاسطوانة $\overline{ر}$
يكون شرط التوازن هو مساواة حاصل ضرب القوة فى مجموع نصفي قطري
الطارة والحبل المشدود بهذه القوة لحاصل ضرب المقاومة فى مجموع نصفي
قطري الاسطوانة والحبل الذى يشده هذه المقاومة

فاذا كان المطلوب أن القوة او المقاومة تقطع مسافات كبيرة لم يكف فى ذلك
وضع صف واحد من ادوار الحبال على الطارة بل يلزم لذلك غالبًا وضع صفين
او ثلاثة ولا يخفى أن القوة فى كل صف جديد تكون متباعدة بالتدريج عن
المحور بزيادة واحدة وهو قطر الحبل فى كل دور وبذلك يزداد كثيرًا بعد المركز عن

اتجاه القوة ويلزم الاعتناء بضبط العملية عند تقويم النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة في حساب توازن منجنيق واحد أو أكثر تقويمه مضبوطا ثم ان غلط الجبال لا يغير شيئا من وضع مركز الطارة بالنظر للقوة ولا من نقطة المحور التي يتوهم فيها اسقاط المحصلة لاجل التأثير على المساند فعلى ذلك لا يتغير بغلظ الجبال شيء من الضغط الحاصل على المساند

ولكن اذا تحرك المنجنيق فان غلط الجبال يضم مقاومته الخصوصية الى سائر المقاومات ويكون كما تقدم على نسبة مطردة بالنظر للشود البسيطة ومربع قطر الجبال وعلى نسبة منعكسة بالنظر لقطر اسطوانة المنجنيق وطارته او نصف قطرهما ويؤخذ من ذلك انه ينبغي في استعمال المنجنيق من يد الاهتمام بعمل جبال تكون قوتها عظيمة جدا بالنظر لقطر مفروض

ولنلاحظ ما ينشأ عن القوة والمقاومة من التأثير الظاهر الواقع على عمود المنجنيق فنقول انه بواسطة تأثير قوة $\overline{ح}$ تجبر الاسطوانة او عمود المنجنيق على الدوران في نقطة $\overline{و}$ (شكل ١) نحو $\overline{ح ح}$ الذي هو اتجاه تلك القوة وبواسطة تأثير مقاومة $\overline{ر}$ يجبر ذلك العمود ايضا على الدوران في $\overline{س}$ نحو $\overline{ر ر}$ الذي هو اتجاه تلك المقاومة المقابلة لاتجاه نقطة القوة فاذا لم يكن العمود من كذا من مادة لا تتغير فان هذين التأثيرين المتضادين يؤثران فيه كثيرا او قليلا ويلتوى التواء مناسب المقدارى القوة والمقاومة

وسأنى في الدرس المعقود للبريمة تفصيل ما يتعلق بتأثير قوة الالتواء وصورة الحازون التي تكاد تجعل الالياف المستقيمة اسطوانات اى اعمدة تستعمل في الآلات وذلك من اهم الاشياء في متانة العمارات ومكبتها

(بيان تأثيرات التناقل في المنجنيق)

وما اسلفناه في شأن تأثيرات التناقل في البكرات يجرى ايضا في شأن التأثيرات الحاصلة على المنجنيق والطارات المضرومة

ومن القوى المدومة ما يستعمل في الظفر باينرمى الاسطوانة والطاراة ويلزم ان يضاف الى الانضغاطات الواقعة على كل محور وكل نقطة من نقط

الارتكاز الضغط الرأسى الحاصل من ثقل طارة الاسطوانة والحبال
واما الحبل الذى يلتف من طرف على اسطوانة المنجنيق او المعطاف ويربط
من الطرف الآخر بالمقاومة فانه عند التفافه على الاسطوانة يتقطع ثقله
بالتدريج عن أن يكون جزءاً من المقاومة الاصلية ويكون جزءاً من المقاومة
التي تعرض لها من الاسطوانة وبذلك يكاد يتقص في كثير من الصور المقدار
الكلى للمقاومة

ولاجل بقاء هذا المقدار الكلى على حاله دائماً يستعمل في الغالب ثقل معلق
بطرف الحبل مقابل للثقل الذى يشد المقاومة فينفرد الحبل حينئذ من جهة
الثقل بقدر ما يلتف من جهة المقاومة وبالعكس وبالجملة فالحبل يلتف دائماً
على الاسطوانة بهذا القدر وبناء على ذلك تكون النسبة الحاصلة بين القوة
والمقاومة واحدة دائماً حتى صارت سرعة التحركات منتظمة

ثم ان الضغط الحاصل على المحاور ونقطة الارتكاز يعظم بقدر ثقل الاسطوانات
والطارات التي تتركب منها الآلات المستعملة فيلزم اذن أن تكون اتصالاتها
صغيرة مهما امكن لكي تقص بقدر الامكان المقاومات الحادثة من الآلات
وسياًنى توضيح ذلك في الكلام على الاحتكاك

وتستبدل في الغالب طارة المنجنيق بذراع رافعة تكون القوة واقعة عليه
فاذا كان هذا الذراع مستقيماً يسمى قضيباً والمناوية وهي الملوى هي في العادة
رافعة منكسرة بهما قبض تكون يد الانسان عليه كالقوة (شكل ٣)

وفي الغالب يستعمل بدلا عن قرص البكرة لاجل تحريك عمود المنجنيق
طارات ذات مدرجات واخرى ذات طناير فاما ذات المدرجات (شكل ٥)
فيصعد على مدرجاتها الغائرة في بين محيط الطارة وشماله كما يصعد على درج
سلم التسلق ويحصل التحرك اذا كان حاصل ضرب جهد ثقل الصاعد في بعد
مركز الطارة عن الخط الرأسى الممتد من ثقل ذلك الصاعد يزيد على حاصل
ضرب ثقل المقاومة في بعد محور الطارة والاسطوانة عن الخط الرأسى الممتد
من مركز ثقل تلك المقاومة

وقائدة هذه الآلة هي أن الصاعد على المدرجات يكون بعيدا ما أمكن عن الخط
الرأسي الممتد من مركز الطارة وبناء على ذلك يعظم تأثيره بقدر الامكان
كلما فرضت الطارة كبيرة

وهناك طارات أخرى عريضة ومجوفة في داخلها مسلك يمر منه الشغالون
المنوطون بتسيير الآلة وفي هذه الصورة كالتي قبلها تقاس النسبة الحاصلة
بين القوة والمقاومة وسيأتي في الدرس الحادى عشر المختص بالمستويات
المائلة بيان كيفية وقوع قوة الصاعدين بياناً شافياً

ويكثر في بلاد الانكليزا استعمال الطنابير التي تقع عليها قوة الانسان بطرق
متنوعة ولتفرض طنبورة او اسطوانة كبيرة القطر على محيطها درجات
صغيرة بارزة مثبتة على بعد واحد من بعضها موضوعة على وجه بحيث
يسهل على من تكون يدها متكئة على قضيب افقي أن يصعد عليها خطوة بخطوة
بدون احتياج الى مدرج عليه مذاً كبير اثم ان الانخاص المعدن لتحرك
الطنبورة يتفون بجانب بعضهم ويقبضون بأيديهم على القضيب الافقي المذكور
واما ارجلهم فانه عند ثقلها يضعونها بالتعاقب على الدرجات المزدوجة
او غير المزدوجة لتدويرها الاسطوانة وهذا الشغل المخترع للمسجونين
معدود من العقوبات الشديدة ويؤخذ من ذلك أن قوة الناس المؤثرة يمكن
أن تستعمل في تحصيل امور نافعة فاذا كانت المقاومة واقعة على محيط سهم
الطنبورة كانت نسبة المقاومة الى القوة كنسبة بعد محور الطنبورة عن الخط
الرأسي الممتد من مركز ثقل الشغالين الى نصف قطر سهم الطنبورة المذكورة
والارغاث الاقضية هي آلة مركبة من اسطوانة اقضية كاسطوانة المنجنيق
ومن قضبان او روافع غائرة من احد طرفيها في ثقب مصنوع على محيط
الاسطوانة من جهة طرفيها واما الطرف الاخر من القضبان فانه يقع عليه
تأثير جهد ايدي الشغالين ونسبة القوة الى المقاومة هنا كنسبة نصف قطر
السهم زائداً نصف قطر الجبل الذي تربط به المقاومة الى بعد المحور عن النقطة
التي يقع عليها تأثير ايدي الشغالين

ولامانع من استعمال الآلة المذكورة في جوانب السفن وتستعمل ايضا في عربات النقل الضيقة الطويلة المعروفة بالكاميون وفي هذه العربات يوضع سهم آلة الارغات امام المحلات ويكون الحبلان الملتقان على السهم مربوطان من طرفيهما في النهاية الخارجة من العربة موضوعين فوق البضائع فاذا كان تأثير الجهد حاصل بواسطة قضبان الآلة المذكورة لاجل لف الحبلين كثيرا فانهما يجبران على أن يكونا دائما في مسافة صغيرة وعلى ضم البضائع لبعضها وحرزهما بحيث لا يمكن وقوعها بالتأثير الناشئ عن الاوتجاج

ويكثر استعمال المخنيق وآلة الارغات في الصناعة قترى ببلاد انكلترة على واجهات المحازن الكبيرة المعدة للتجارة خيوطا رأسية لاجل اسناد الشبايك وترى ايضا فوق واجهة الشباك الرأس عن غيره في الارتفاع بكرة ثابتة دائما في طرف الحلقة التي تكون تارة بارزة من الحائط وتارة ملصوقة به وذلك على حسب ما يراد فاذا كان المطلوب رفع بضائع او تنزيلها فانهم يربطونها في طرف حبل يترى بكرة ثابتة ويصل الى المحازن فيلتف على سهم المخنيق المتحرك تارة بالماوية وتارة بالمحلات وما تشبه ذلك ومن المهم استعمال الآلات البسيطة لاسيما المخنيق في تجارات فرانس

ثم ان آلة العيار (المعدة لرفع الاحجار) هي من متعلقات المخنيق والغرض منها امران احدهما رفع الحمل او خفضه وثانيهما وضعه في محل لا يكون على الخط الرأسى المقابل لوضع الحمل الاصلى فيلزم عمل حلقة تدور على السهم الرأسى ويكون في طرفها الاعلى قرص بكرة ثابتة وفي طرفها الاسفل سهم المجنبة او آلة الارغات المتحركة باحدى الطرق السابقة اعني القضبان او الطنابير فاذا اقتضى الحال اخراج ما في السفن من البضائع ووضعها على الرصيف وكان العيار موضوعا على طرف ذلك الرصيف القريب من السفن فالتساير حلقة العيار الى النقطة التي يكون فيها القرص الثابت في الدراع الاعلى من الحلقة موضوعا رأسيا على قنطرة السفينة (المعروفة عند الملاحين بالكويرته) التي يراد تفريغها وتربط البضاعة في طرف الحبل الذي يمر بالبكرة

الثابتة ويلتف على اسطوانة المجنبيق ثم توجه تأثير القوة المعدة لتحريك هذا
المجنبيق الى الجهة اللازمة لرفع الحمل فاننا وصل هذا الحمل الى الارتفاع اللازم
ابطالنا دوران المجنبيق وندير الحلقة على سهمه حتى تصل الى النقطة التي يكون
فيها الحمل المعلق في تلك الحلقة موضوعا رأسيا على الرصيف فينتد يقع
على القوة تأثير المقاومة ويبطئ الحمل بواسطة تأثير قلة حتى يصل الى الرصيف
او العربية التي تكون مسامحة لهذا الحمل ثم ان اعطب العيارات يتحرك
بواسطة قوة البسر ومنها ما يتحرك بقوة البخار وقد ذكرنا من هذه الالات
ما هو اكثر استعمالا في الجزء الثالث من رحلتنا الى بلاد بريطانيا الكبرى
(قوة تجارية داخلية) وذكرنا ايضا لتلك الالات امثلة عديدة مع ما ينتم لها
من الاشكال الهندسية وهي قليلة الحجم كثيرة الصلابة لكون جميع اجزائها
من الحديد

ولا بد في عمل العيارات مع الصبط أن يكون صانعها له اليد الطولى في الهندسة
والميكانيكا حتى يجعل لاجزائها المتنوعة اشكالا وتناسبات تنفع جدا في ضبط
الحركات وتلطيفها ولا بد ايضا أن تكون الاجزاء المحركة من العيارات خفيفة بقدر
الامكان وأن تكون صلبة على حسب ما تقتضيه الضرورة لان قوة يرسى
الاجزاء الثقيلة جدا تستلزم في نظير ما يتعدى منها جهدا يترتب عليه تدميرها
وما ذكرناه سابقا من القواعد وما سنذكر منها في هذا الجزء له شواهد واضحة
في صناعة العيارات وغيره من سائر الالات التي هي من قبيل المجنبيق

ومن الالات الشهية بالمجنبيق اكثر رفع الاثقال المعروفة بالعقوق وهي مركبة
من سهم اثني موضوع ترياس قاعدة المثلث الحادث من عارضة افقية وثلاثين
مائلين ومن بكرة مثبتة في الرأس الذي يلتصق فيه الثمانين ببعضهما وهذا
المثلث الذي قاعدته على الارض يكون ممسكا من رأسه بساق ثالث مائل الى
جهة تضاد الجهتين الاوليين فاننا كان المطلوب رفع حمل فان هذه الالة توضع
على وجه بحيث يكون الحمل بين سيقان الالة الثلاثة ويكون احد طرفي الحبل
المار بالقرص الثابت ممسكا للحمل والعرف الاخر ملتصقا بسهم المجنبيق

المختزل بواسطة انقباض او الرافع وكثيرا ما تستعمل الآلة المذكورة في اشغال الطبوجية وقد تقدمت صورتها (في شكل ٧ من الدرس الرابع من الجزء الاول)

والمعطاف (شكل ٨) هو منجنيق محوره رأسي والقبض او القضان المعدة لتحريكه اقية

و يتحقق التوازن في العيوق والارعات والمعطاف متى كان حاصل ضرب القوة في طول ذراع الرافعة الواقعة على طرفه هذه القوة مساويا لحاصل ضرب المقاومة في نصف قطر الاسطوانة زائدا نصف قطر الحبل الذي تكون هذه المقاومة مربوطة به

فاذا كان هناك عدة قضبان وعدة قوى واقعة عليها لم يضرب كل قوة في طول ذراع رافعتها واخذ مجموع هذه الحواصل وهذا المجموع هو الذي يكون مساويا لمقدار المقاومة

وليس تأثير تناقل الآلة على تقطعي الارتكاز واحدا في المنجنيق والمعطاف اذ في المعطاف يكون السهم المعروف بالحرس رأسيا وتكون القوة والمقاومة متجهتين اتجاهها اقصيا فيكون تأثيرهما على تقطعي الارتكاز ضغطا اقصيا ينشأ عن تناقل سهم المعطاف وقضبانها ضغطا رأسيا على المحيط المستدير المعد لدخول اصبعي السهم بل على القاعدة الموضوعة تحت ذلك السهم في اتجاه المحور وهذه القاعدة التي هي في العادة مجوفة كالطيلسان الكروي تعرف بالسكرة

ولا يتأني في المعطاف حسبا هو مشاهد أن يكون الضغط الافقي الواقع على تقطعي الارتكاز ناشئا الا عن تأثير القوة والمقاومة لان نقل الآلة لا يدخل له في ذلك بالكلية

ويستعمل المعطاف غالبا في الاشغال الداخلية لاجل جر الاحمال حرا اقصيا فتتخلق هذه الاحمال على الملفات الاسطوانية المتخذة من الخشب والحديد وقد تتخلق على عجلات صغيرة او اكر تجرى في افاريز مجوفة وسبب اختراع

هذه الطريقة الاخير ما نهم ارادوا نقل كتلة عظيمة عليها صورة بطرس الاكبر
في مدينة سفت بترسبورغ

ويستعمل المعطاف ايضا في القنون الحربية لاسيما في الطوبجية لاجل اجراء
اشغال هذه القوة العسكرية في الترسانات والمعسكرات والمجاصرات

وكذلك يستعمل مع الاهتمام في جوانب السفن لاجل اجراء لوازمها واشغالها
ومعطاف السفن الاكبر (شكل ٧) على صورة سهم رأسي يثقب الكوريتين

ويستقر على سكرجة موضوعة في الكورينة المستعارة ويحيط بهذا السهم
في احدى الكورينات المتوسطة جرس على شكل مخروط عوضا عن أن يكون

على شكل اسطوانة ولا بد أن يكون على محيط هذا الجرس عدة اذوار من الحديد
المعدلة للمقاومة يلزم أن نوضح هنا تأثير هذه الصورة المخروطية فنقول

قد سبق أن الخطوط الحزونية المرسومة على سطح الاسطوانة هي اقصر خطوط
يمكن رسمها بين نقطتين على مثل هذا السطح وعليه فتكون القوى الواقعة

على طرفي الحديد المتني على صورة خط برمي حول الاسطوانة في اتجاه هذا
الخط البرمي شادة بالضرورة للحبل المذكور في اتجاه ذلك الخط البرمي

وفي هذا الوضع تكون القوتان المؤثرتان بمماسة الخط البرمي مائلتين بالنسبة
لاضلاع الاسطوانة او بالنسبة للحدود غير أن اتجاه القوة والمقاومة يكون

كما سبق في تعريف المنجنيق والمعطاف عموديا على اتجاه الاضلاع ومحور السهم
وحقيقة لا تؤثر المقاومة الواقعة على الطرف الخالص من الحديد المتني أثناء

حزوني على سهم المنجنيق او المعطاف في اتجاه الخط الحزوني فاذا نشأ عن تأثير
هذه القوة اختلال الحديد واضطرابه بحيث لا يبقى على الاتجاه الحزوني الذي

كان عليه ونشأ عن تأثير المحصلة ضغط شديد لجزء الحديد المتني كما سبق أثناء
حزوني على محيط السهم بحيث اذا انضم جزء هذا الحديد الى بعض امة لا الخط

البرمي شيئا فشيئا حتى يصير المماس لهذا الخط البرمي في اتجاه المحصلة التي
يحصل فيها الخلل ايضا

وحيث انه يلزم في تحريك المعطاف أن تقطع المقاومة بواسطة هذه الالة مسافة

كبيرة تساوى طول قنة مثلها من الامتار عدتها ٢ فاذا تصورنا ان القنة ملتفة مباشرة على جرس المعطاف لزم أن تحدث ادوارا كثيرة على نفسها وبذلك يزداد قطر الجرس وتنقص شدة القوة

ويجوز تدارك هذا الخطر بواسطة جبل غير متناه يعرف بالجبل البرمى وذلك انه يوجد في هذا الجبل على ابعاده عقد معتبرة كنقط منع ووقوف لاجل ربط القنة التي يراد شدّها به فتدير هذا الجبل خمسة ادوار وستة دورا حازونيا على جرس المعطاف وكلما دار المعطاف التف طرف الجبل البرمى الاسفل واقرد طرفه الاعلى فاذا كان الجرس اسطوانيا فانه يستمر على التحرك بهذه الكيفية حتى يصل الجبل البرمى في اقرب وقت الى اسفل ذلك الجرس فيشتبك حيثئذ بين الجرس و سطح كويرته السفينة او يجبر على الالتفاف من جهة مضاد قبلته ليتحصل صف آخر من الجبل الموقوف على الجهة الاولى ولكن لا تغفل أن صورة جرس المعطاف مخروطية ومجوفة من اسفلها فعلى ذلك يتحصل من تحليل القوى على ما سنذكره في شأن المستوى المائل انه كلما قوى شد الجبل البرمى بتأثير المقاومة قوى ايضا ضغط هذا الجبل لاجل رفع جزء الجبل البرمى المنثنى كما سبق انشاء حازونيا ويكفي هذا الضغط من زمن الى آخر في رفع سائر الادوار الحازونية ودفعها الى اعلى

وهذا التأثير الاخير ينشأ ايضا عن كون جرس المعطاف بعد أن كان مخروطيا لايسهل به رفع الجبل في سائر الاوقات صار سطح دوران مجوقا من جزء المتوسط كسطح الجرس الذي اخذ منه اسمه وكلما التف الجبل على هذا الجرس وهبط الى اسفل كان على قطعة مخروطية مجوفة جدا وهذا الميل كما سيأتى في مجتأ المستوى المائل يكسب شد الجبل قوة عظيمة حتى يرفع سائر الادوار الحازونية الحادثة على الجرس وينقلها الى الجزء الاعلى من المعطاف وبهذه الطريقة البديعة يجبر الخطل المتقدم

وبالجملة ففي الحالة التي يكون فيها الجبل البرمى عند هبوطه الى اسفل الجرس ملتفا على نفسه مع وجود صورة الجرس يتلاقى الجبل المذكور مع

وإذا قطعنا النظر عن الحدود التي يحوي بعضها بعضا تحصل معنا

$$\frac{\text{ح} \times \text{ش} \times \text{ش} \times \text{ش} \times \text{ش}}{\text{ر} \times \text{ش} \times \text{ش} \times \text{ش} \times \text{ش}} = \frac{\text{ح}}{\text{ر}}$$

وعلى ذلك تكون نسبة القوة للمقاومة في عدة منجنيقات او معاطيف كنسبة حاصل ضرب انصاف اقطار ما ترا الاسهم الى حاصل ضرب انصاف اقطار جميع العجلات

فاذا اردنا أن ندخل في هذا المقدار قطر الجبال لزم أن يكون التوازن حاصلًا متى كان حاصل ضرب القوة في انصاف اقطار العجلات التي كل نصف قطر منها يزيد بقدر نصف قطر الجبل الملقوف على العجلة المقابلة له مساويا لحاصل ضرب المقاومة في انصاف اقطار الاسطوانات التي كل نصف قطر منها يزيد بقدر نصف قطر الجبل الملقوف على الاسطوانة المقابلة له

ثم ان الطريقة الانية تستعمل غالبًا في تحويل تحرك دوران من محور مفروض الى محور موازله وكيفية استعمالها أن نثبت على كل من محوري ش و ش (شكل ١٠) قرصين ش و ش ونحيطهما بجبل ا ا ب غير المتناهي الذي يوجد به فروع صغيرة قريبة جدًا من بعضها ومربوطة في تجويفات مصنوعة في محيط القرصين لتمنعه عن التزحلق فاذا كانت ح هي القوة المحركة للعجلة الكبيرة والمؤثرة في طرف ذراع رافعة ش د كان $\text{ش د} \times \text{ح}$ هو مقدار القوة المذكورة واذا كان ط هو شد الجبال لزم أن عجلة ت ا ب تكون $\text{ح} \times \text{ش د} = \text{ط} \times \text{ت ا}$ فاذا كان يكون

$$\text{ط} = \frac{\text{ش د}}{\text{ت ا}} \times \text{ح}$$

واذا كان ر هو المقاومة المؤثرة في طرف ذراع ش د تحصل معنا بلا واسطة شرط التوازن وهو

$$\text{ر} \times \text{ش د} = \text{ط} \times \text{ش ا} \quad \text{فاذن} \quad \text{ط} = \frac{\text{ش د}}{\text{ش ا}} \times \text{ر}$$

غير أن شد ط الحاصل من القوة يكون عين شد ط الحاصل من المقاومة

$$\text{وبناء على ذلك تكون } ح \times \frac{\text{شد}}{\text{شأ}} = ر \times \frac{\text{شد}}{\text{شأ}}$$

فإذا فرضنا أن شد = شد تحصل ح × ح = ر × ر × شأ × شأ
وهذا من شروط التوازن البسيطة جدًا

ولنفرض في حالة التمر أن ذراع شد الذي تكون قوة ح واقعة عليه يحدث دورة في زمن ط ثم تنظر كم دورة يحدثها في هذا الزمن ذراع شد الذي تكون مقاومة ر واقعة عليه

فيدور قرص أب دورة كاملة في مدة دورة شد وتقطع كل نقطة كنقطة آ على الجبل غير المتناهي مسافة تساوي محيط العجلة غير أن كل نقطة من قط العجلة الصغيرة تكون سريعة الحركة كالجبل غير المتناهي لأن المفروض أن الجبل دائماً لا يتزحلق بطول العجلات فاذن تقطع نقطة آ في مدة زمن ط على عجلة اره مسافة تساوي محيط أبه وحيث أن طول المحيطات مناسب لطول انصاف الاقطار يكون محيط اره الصغير محصوراً في الكبير بقدر انحصار نصف القطر الصغير في الكبير وحيث أن نقطة آ تحدث دورات بقدر انحصار شأ في شأ حتى تقطع على العجلة الصغيرة مسافة تساوي محيط العجلة الكبيرة

فإذا ضربنا عدد الدورات في مقدار المقاومة وهو ر × شد تحصل معنا

$$ر \times \text{شد} \times \frac{\text{شأ}}{\text{شأ}} \times \text{محيط هاب}$$

وهي كمية مساوية بالضبط لقوة ح × شد × محيط هاب

$$\text{حيث أن } ح \times \frac{\text{شد}}{\text{شأ}} = ر \times \frac{\text{شد}}{\text{شأ}} \text{ يحدث منه}$$

$$ح \times \text{شد} = ر \times \frac{\text{شأ}}{\text{شأ}} \times \text{شد}$$

وبناء على ذلك يحدث

$$\text{ح} \times \text{شد} \times \text{محيط ه اب} = \text{ر} \times \text{ش} \times \frac{\text{ش ا}}{\text{ش}}$$

وتوجد هنا ايضا المساواة التي تكون دائما باقية على حالة واحدة من كيمي تحرك القوة والمقاومة في تحرك الآلات المتواصل

و يكثر استعمال الآلة التي ذكرناها آنفا في حرفة الخراطة وتستعمل ايضا في الحرف الهينة كمن السكاكين وكذلك في فن الغزل كالمقص الذي به يغزل الخيط

وفي ذلك المقص تكون قوة ح هي رجل الغازل المؤثرة في طرف المانوية بواسطة دواسة سكي عليها تلك القوة موزعة واحدة في كل دورة

ويستعمل غالبا في الورش التي يحتاج فيها الى مجهودات عظيمة سيور عريضة عوضا عن الحبل غير المتناهي الذي يدير الجهتين وربما استعملت السلاسل عوضا عن الحبال

وقد تستعمل السلاسل المسننة التي تكون كلباتها الصغيرة منضعة الى بعضها بمحاور او بمسامير بارزة من الجهتين وداخله في قلوب مصنوعة في الطرفين المنتهين من المقص الذي لا يمكن تحريكه بدون السلسلة

ويمكن بواسطة الطارات المضروبة (شكل ١٢) عدم استعمال ما ذكر من الحبال والسيور والسلاسل وتحويل التحرك من طارقي الى اخرى مباشرة لانه اذا قابلنا حيتن طارقي $\overline{\text{ا ه}}$ و $\overline{\text{ا ه}}$ متى كانتا متحركتين بوتر $\overline{\text{ا ا}}$ (شكل ١٠) او كان لهما اضراس متعشقة ببعضها مباشرة (شكل ١٢) وجدنا في كلتا الحالتين ان كل نقطة من نقط $\overline{\text{ا ه}}$ و $\overline{\text{ا ه}}$ تحرك بسرعة واحدة الا ان $\overline{\text{ا ه}}$ (شكل ١٢) يدور من الشمال الى اليمين و $\overline{\text{ا ه}}$ بالعكس اي من اليمين الى الشمال واما الطارات المفردة (شكل ١٠) فتدور في جهة واحدة

وحيث كانت نقطتا $\overline{\text{ا}}$ و $\overline{\text{ا}}$ (شكل ١٠) متحركتين السرعة فان نقطة $\overline{\text{ا}}$ تحرك على $\overline{\text{ا ه}}$ دورة كاملة حين تحدث $\overline{\text{ا}}$ على $\overline{\text{ا ه}}$

دوران بعدد مرات احتواء نصف قطر $\overline{ا\theta}$ على نصف قطر $\overline{ا\theta}$
 فاذن تكون نسبة سرعة $\overline{ا\theta}$ الموزونة الى نسبة سرعة $\overline{ا\theta}$ كنسبة
 نصف قطر $\overline{ا\theta}$ الى نصف قطر $\overline{ا\theta}$

فاذا كان الحبل غير المتناهي في اتجاه $\overline{ا\theta}$ عوضا عن ان يكون
 في اتجاه $\overline{ا\theta}$ (شكل ١٠) كانت النسب التي بين القوة والمقاومة
 المعادلة لها واحدة عند حصول التوازن غير انه يحصل اختلاف في حالة التحرك
 حيث انه بمقتضى الحالة الاولى تدور طارئا $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\theta}$ في جهة
 واحدة وبمقتضى الحالة الثانية يدوران في جهتين متضادتين

وبموجب هذا التركيب يمكن تحصيل الة مركبة تشبه الة المنجنيق (شكل ١٢)
 بان ثبت على محور واحد طارئا كبير مضروبة وطارئا صغيرة مضروبة تعرف
 بالتروس وهي $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\theta}$ الخ
 فلابد ان تساوي مقدارى قوة $\overline{ا\theta}$ ومقاومة $\overline{ا\theta}$ يجعل $\overline{ا\theta}$ و $\overline{ا\theta}$ على
 الجهدين الواقعين على قط مختلفين قط التعشيق تحصل هذه المعادلات وهي

$$\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$$

$$\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$$

$$\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$$

$$\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$$

فاذن يحدث بقطع النظر عن المضارب التي يحوي بعضها بعضا $\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$
 $\overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} = \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta} \times \overline{ا\theta}$
 وعلى ذلك تكون نسبة القوة الى المقاومة كنسبة حاصل انصاف اقطار سائر
 الطارات الصغيرة الى نسبة حاصل انصاف اقطار سائر الطارات الكبيرة

فاذا افترضنا على قطلة تعشيق الطارتين (شكل ١٤) قوة $\overline{ا\theta}$ من الجهة

الى جهة فحرك $\overline{\text{شاه}}$ وقوة $\overline{\text{ن}}$ المتجهة الى جهة المقاومة الواقعة
على الطارة الثانية وهي $\overline{\text{شاه}}$ لزم لاجل حصول التوازن أن تكون
هاتان القوتان متساويتين بالبداية

ولتكن قوة $\overline{\text{ح}}$ مؤثرة على $\overline{\text{اه}}$ في طرف ذراع رافعة $\overline{\text{شد}}$ ومقاومة
 $\overline{\text{ر}}$ مؤثرة على $\overline{\text{اه}}$ في طرف ذراع رافعة $\overline{\text{شو}}$ فيحدث

$$\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شد}} = \overline{\text{م}} \times \overline{\text{شو}}$$

$$\overline{\text{ر}} \times \overline{\text{شو}} = \overline{\text{م}} \times \overline{\text{شو}}$$

$$\text{فاذن يكون } \overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شو}} = \overline{\text{شد}} \times \overline{\text{ر}}$$

فعلى ذلك يعلم أولا انه حيث كان $\overline{\text{شد}}$ و $\overline{\text{شو}}$ معلومين فكلما كان

$$\overline{\text{شو}} \text{ صغيرا كبر } \overline{\text{ر}} = \frac{\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شو}}}{\overline{\text{شد}}} \text{ وثانيا حيث كان } \overline{\text{شد}}$$

و $\overline{\text{شو}}$ ملازمين لحالة واحدة فان $\overline{\text{ح}}$ و $\overline{\text{ر}}$ يكونان على نسبة منعكسة
عن نسبة $\overline{\text{شاه}}$ و $\overline{\text{شاه}}$ اللذين هما نصف قطرى الطارتين المضرستين
خبنا على ذلك اذا كانت الاولى ضعف الثانية او ثلاثة امثالها او اربعة امثالها
كانت مقاومة $\overline{\text{ر}}$ المعادلة لقوة $\overline{\text{ح}}$ ايضا ضعف هذه القوة او ثلاثة امثالها
او اربعة امثالها

وهناك آلة تشبه الطارات المضرسة وهي عجلة العربات

وليست الاجسام الطبيعية منتهية بسطوح مصقولة مقلدا تاما وانما هي
منتهية بسطوح خشنة متضرسة بتضاريس بارزة كثيرا وقليل لانه اذا رصدت
الاجسام المصقولة مقلدا تاما بالكرسكوب (وهي النظارة المعظمة) وجدت
بها تضاريس بارزة وتأثير هذه التضاريس يتعين فحرك عجلات العربات

وذلك ان العجلة اذا كانت مصقولة مقلدا جيدا وكانت الارض اقلية فان
العجلة حين تجذبها القوة الاقلية تمس الارض دائما بدون أن يعرض لها ادنى
مقاومة الا أنه بالتناقل تتعشق اضراس العجلة بتضاريس الارض فتقف العجلة

وتجبر على الدوران نائيا حيث أنه يعرض لها في كل وقت مقاومة جديدة تعدم جزاً من سرعتها حتى تقف عن الدوران بالكلية ما لم تتجدد القوة المعدومة وقد شوهد في عدة أماكن من بلاد الانكليز سكك من الحديد مضرسة تدحرج عليها عربات ذات عجلات مضرسة أيضاً وكلاهما شاهد واضح على ما اسلفنا من أن السطوح المصقولة كثيراً أو قليلاً وكذلك السكك المسطحة والعجلات الاعتيادية لا تخلو عن الخرسنة

فإذا فرضنا أن العجلات المضرسة اسطوانية أو مخروطية وان محاورها بناء على ذلك متوازية أو متباعدة عن بعضها فان نسبة القوة للمقاومة ليست دائماً عين نسبة ابعاد النقطة التي تتماس فيها الاضراس مع الاسهم المتناظرة التي تصل القوة بالمقاومة

ثم ان صناعة العجلات المضرسة هي من ادق الصناعات وذلك انها تستلزم مراعاة القواعد الهندسية المضبوطة المتعلقة بتقسيم الدائرة (راجع خواص الاسطوانات في الدرس الثالث والثامن من الجزء الاول وكذلك خواص المخروط في الدرس الرابع عشر منه)

فإذا كان المطلوب صناعة عجلات ذات قطر كبير لزم مزيد الالتفات الى القواعد الهندسية في صناعة الاضراس لانها من الامور المهمة ولا بد أيضاً أن تكون العجلات دائرة على وجه بحيث تنطبق نقط الضرسين التماسين على بعضها كأنطبق عجلتي العربتين على الارض بدون أن تتزحلق احدهما وتحتك على الاخرى حتى يكون سيرها على وفق المرام من سرعة أو بطئ

وهناك مؤلفات في علم الميكانيكا تستعمل على حل مثل هذه المسائل حللاً تاماً فمن اراد ذلك فليجلبها (منها رسالة الالات للمهندس هاشيت وهي رسالة جلية نافعة)

وعوضاً عن استعمال عدد قليل من الاضراس الكبيرة البارزة القصيرة كما كان ذلك سابقاً استصوب استعمال عدد كثير منها وجعلها قليلة البروز والعرض طويلة عن المقدمة ليكون لها صلابة كافية فيسهل حينئذ رسم صورة

الاضراس ويكتفى في ذلك أن يكون جانبها على صورة مستطيل زواياه البارزة منفرجة قليلا وتكون مستديرة استدارة خفيفة في الواجهتين العموديتين على محيط العجلة وهذا لآلة عند تحركها في مبداء الامر تبرى الاجراء البارزة جدا وان لم يذ كر ذلك في النظريات لكنها بالاستعمال تصبح مستحسنة لطيفة

واغلب صناعات الآلات والساعات الكبيرة يسلكون هذا المسلك في طاراتهم المضرة الاعتيادية غير أن استدارة هذه الطارات تكون تامة

فيستعمل صناعات الساعات الكبيرة طارات لاضراسها صور متنوعة ومتباينة بالكلية منها ما هو على شكل محيط اسطوانة (شكل ١٧) ولطارات الخبز او المنع (شكل ١٦) (وهي آلات تدوير الى جهة وت منع الدوران الى اخرى) اضراس مستتة ومائلة الى ذراع الرافعة الذي يمنع العجلة عن الرجوع والتأخر واذا حصل عند التأخر والرجوع ضرر كبير او خطر في التحرك المستدير لازم المبادرة الى آلة المنع ما لم يستعمل لذلك الحاجز المسمى بالزام الآتى ذكره في الدرس الثالث عشر المتعلق بالاحتكاك

وفي الغالب يستعمل التركيب الآتى وهو أن احدى الطارات المضرة تسبديل باسطوانة مضرة منيرة تعرف بالقانوس (شكل ١٥) وتركب هذه الاسطوانة من عدة قضبان مستديرة ومحاورها على بعد واحد من بعضها وتكون على محيط مستدير ويكون في المسطحين المصنوعين على شكل دائرة تقوب مربعة تعرف بالعاشق يدخل فيها اطراف القضبان المربعة المعروفة بالمعشوق وحيث ان القانوس المذكور ليس الا طارة مضرة فان نسبة القوة للمقاومة تقوم بمقتضى القاعدة المطردة التي سبق توضيحها

والكريك وهي نوع من المجنون (شكل ١٨) آلة يكون محور طارتها المضرة وهو **اب** ثابتا واما قضيبها المستقيم المضرس وهو **هـ** فانه يكون متحركا واسطة العجلة

ويوجد في الكريك البسيطة ما فويلة كإفويلة **ث ب ب** تتحرك بها

طارة ١ المضرس المتعشقة بتضيب $\overline{هـ}$ المضرس وفي هذه الآلة
تكون نسبة القوة الى المقاومة هي $\frac{\overline{ح}}{\overline{ر}} = \frac{\overline{ثب}}{\overline{ثا}}$ وترى في هذا
التساوى أن $\frac{\overline{ثب}}{\overline{ثا}}$ هي نسبة المسافتين المقطوعتين في زمن واحد بالقوة
والمقاومة

واما الكريك المركبة (شكل ١٩) فلها ماؤيلة تؤثر على الترس الصغير الاول
المتعشق بالجملة التي على محورها ترس صغير ثان متعشق مباشرة بتضيب الكريك
ويجعل $\overline{د}$ و $\overline{ك}$ زميرين الى نصفي قطري الماؤيلة والجملة و $\overline{د}$ و $\overline{ك}$
زميرين الى نصفي قطري الترسين المذكورين يحدث معناه في هذا الحالة الجديدة
شرط التوازن وهو

$$\overline{ح} \times \overline{د} \times \overline{ر} = \overline{د} \times \overline{د} \times \overline{ر}$$

مثلا اذا كان $\overline{د}$ ثلاثة امثال $\overline{د}$ و $\overline{د}$ ثلاثة امثال $\overline{د}$ تحصل معنا
 $\overline{ح} \times ٣ = \overline{د} \times ١ \times ١$ او $\overline{ر} = \overline{ح} \times ٩$ فاذن تكون قوة $\overline{ح}$
موازنة لقوة اكبر منها ٩ مرات واما في الابعاد التي يقع فيها التضيب المضرس
مباشرة على الترس الصغير الاول فان قوة $\overline{ح}$ لا تكون موازنة للقوة اكبر منها
٣ مرات غير انه اذا اريد تحصيل التحرك يلزم أن قوة $\overline{ح}$ تقطع ٩ مرات
مقدار من المسافة اكثر من المقاومة

* (الدرس الحادي عشر) *

في بيان التوازن على المستويات الثابتة والمستويات المائلة وسلك الحديد
التي مستوياتها مائلة

قد اعتبرنا فيما تقدم قطعة ثابتة في توازن الرافعة ومستقيما ومحورا ثابتا في توازن
قرص البكرة والمنجنون واما هنا كلهما ولنبحث الان عن توازن القوة المؤثرة
على مستو ثابت بفرض هذا المستوى مصقولا صقلا جيدا فنقول

لكيلا يحصل ادنى تحرك من قوة ح ث (شكل ١٠) الدافعة لنقطة ث المادية على مستوى أ ب الثابت يلزم أن تكون هذه القوة عمودية على المستوى المذكور

فإذا كانت القوة المذكورة عمودية على المستوى الثابت فإن النقطة المادية لا تتحرك في جهة أكثر من أخرى مضادة لها بل تبقى ساكنة حيث أن كل شيء يصير متماثلا في اتجاه القوة وفي شكل المستوى المعبر في سائر الجهات وإذا كانت قوة ح ث المذكورة مائلة (شكل ٢) أمكن حلها إلى قوتين أحدهما وهي ش خ متجهة على المستوى المتقدم والآخرى وهي ش ح عمودية على هذا المستوى وحيث أن تأثير هذه القوة الأخيرة منعدم بالمستوى المذكور لم يبق إلا القوة ش خ وحدها فتؤثر في اتجاه ش أ ولا يحصل لها ادنى مقاومة وبذلك لا يمكن حصول التوازن

ولنفرض الآن أن هنالك عدة مامن القوى مثل ش ح و ش خ و ش ز الخ (شكل ٣) كلها دافعة لنقطة ث المادية على مستوى أ ب فيلزم جعل كل قوة منها في طرف الأخرى بدون أن يتغير اتجاهها ثم يغلق مضع القوى بمستقيم آخر يدل مقدارا واتجاها على محصلة هذه القوى فيثبت لا يحصل التوازن (شكل ٣) إلا في الصورة التي تكون فيها ش ز أعني محصلة سائر القوى المذكورة عمودية على المستوى الثابت فإنها لا يحصل التوازن فإن نقطة ث المادية (شكل ٤) تتحرك على طول المستوى الثابت كما لو كانت مدفوعة بقوة ش ز المنفردة المساوية لمسقط محصلة ش ز على المستوى الثابت

ولنفرض بدلا عن النقطة المادية جسم ث هـ (شكل ٥) المدفوع على المستوى الثابت بقوة ح فيلزم أن يكون اتجاه ح موازيا لنقطة ث متى كانت هذه النقطة وحدها مشتركة بين المستوى والجسم لأنه إذا فرضنا أن قوة ح تمر بنقطة أخرى من خط المستوى الثابت كنقطة ث

واوقعنا هذه القوة في نقطة الجسم وهي Γ القريبة بالكلية من المستوى
الثابت على Γ لم يكن هنالك مانع يمنع قوة Γ من دفع نقطة Γ
حتى تماس المستوى فتجذب حيثند جسم Γ فكله فاذا لا يحصل
التوازن

ولابد أن تكون قوة Γ دائما عمودية على المستوى الثابت حتى
لا تنصل الى قوتين احدهما عمودية وعدمها المستوى والثانية متجهة الى
جهة ذلك المستوى من غير أن يعارضها شيء

فاذا اثرت عدة قوى في الجسم لزم أن تمر محصلها بنقطة Γ وأن تكون
دائما عمودية على المستوى الثابت ليبقى الجسم متوازنا دائما

فاذا فرضنا الآن أن الجسم عس المستوى في تقطعي Γ و Γ (شكل ٦)
لزم أن تكون المحصلة الكلية لسائر القوى المؤثرة في الجسم منخلة الى قوتين
تمران بالنقطتين المذكورتين

وبالجملة فليكن $\Gamma\Gamma$ هو المسقط الرأسى (شكل ٦) لمحصلة سائر القوى

وليكن $\Gamma\Gamma$ و $\Gamma\Gamma$ المساط الاقصية لاوزاع تقطعي Γ و Γ الثابتين

ونقطة Γ التي تلاقي فيها المحصلة المستوى الثابت

فيمكن أن نمد أولا من Γ و Γ مستقيم $\Gamma\Gamma$ ونحل

قوة $\Gamma\Gamma$ الى قوتين موازيتين لقوة $\Gamma\Gamma$ احدهما وهي Γ واقعة على

Γ والاخرى وهي Γ واقعة على اى نقطة كانت مثل نقطة Γ من مستقيم

$\Gamma\Gamma$ وحين ان قوة Γ عمودية على المستوى الثابت ومارة بنقطة Γ

التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى لا يمكن أن يتغير وازن المستوى فلم يبق

حيثند الا قوة Γ التي لا يدور بها الجسم الا اذا لم تكن نقطة Γ مشتركة بين

هذا الجسم والمستوى الثابت مالم تكن نقطة Γ المذكورة موجودة

بين \bar{A} و \bar{B} لانها اذا كانت موجودة خلف واحدة منهما بما قلبت الجسم الى تلك الجهة

ولنفرض جسما مستندا من قطعه الثلاثة وهي \bar{A} و \bar{B} و \bar{C} (شكل ٧) على مستوئيات ونصل بين تلك النقط الثلاث بمستقيمات \bar{AB} و \bar{BC} و \bar{CA} فلاجل أن يكون الجسم الواقع عليه تأثير قوة ما بقوة \bar{C} متوازنا يلزم أولا أن تكون هذه القوة عمودية على المستوى الثابت وثانيا أن لا تكون النقطة التي تلاقي فيها تلك القوة المستوى الثابت موضوعة خارج مثلث \bar{ABC} لانه بدون ذلك لاشئ يمنع القوة عن ايقاع الجسم من الجهة التي تكون هي موجودة فيها

فاذا كان للجسم المستند على المستوى الثابت عدة نقط بدلا عن نقط الارتكاز الثلاث لزم أن نصل بين كل قطعتين منها بمستقيم بحيث يحدث من ذلك شكل مضلع مغلق انفلاقا تاما خال عن الزاوية الداخلة فحينئذ تكون شروط توازن الجسم المدفوع بالقوة هي أولا $\sum K = 0$ كون هذه القوة عمودية على المستوى الثابت وثانيا أن لا يكون اتجاهها الممتد الى المستوى الثابت خارجا عن المضلع المذكور

واذا اعتبرنا تناقل الاجسام عند اقترانها ببعضها وعند حساب مواد الالات كانت صور التوازن المتنوعة على غاية من الوضوح

وما ذكرناه في شأن الاجسام الموضوعة على المستويات يجري كله في الاجسام الموضوعة على سطوح اياما كان شكلها سواء كانت تلك الاجسام مركبة من اجزاء مستقيمة او منحنية ويلزم دائما أن تكون محصلة القوى المؤثرة في الجسم منحلة الى قوى مارة بنقط الارتكاز وعمودية على السطح الثابت وكذلك يلزم أن لا تكون هذه المحصلة مارة من خارج المضلع الخالي عن الزوايا الداخلة الحادث من المستقيمات الواصلة بين نقط الارتكاز

وفي القنون عمليات كثيرة جارية على حسب تلك القواعد * مثلا يلزم لاجل

توازن قلم النقش عند دفعه باليد على اى سطح كان أن يوجه عموديا على هذا السطح حتى لا يتزحلق وأن يكون دفع القوة في اتجاه رأسه الى سنه والواقع او تزحلق

فاذا كان الجسم مدفوعا على مستو ثابت وكان مستندا عليه باكثر من ثلاث نقط لزم أن تراجع في هذه المسئلة القواعد المقررة في شأن هذا الجسم وما مثله لنعلم القوانين التي يحصل بها تدارك الضغط الواقع من الجسم في كل نقطة من نقط تلاقيه مع المستوى الثابت

وذلك لان هناك صورة شهيرة تبين فيها مقدار هذا الضغط بلا واسطة وهي التي يتكون فيها من جميع نقط التماس على المستوى الثابت شكل منتظم وتكون فيها القوة الدافعة للجسم على ذلك المستوى متجهة الى جهة بحيث تمر مركز هذا الشكل واذا فرضنا أن الجسم متماثل بالنسبة للمستويات التي تمر على التناظر بمجاور تماثل المضاع او الشكل المنتظم الحادث من نقط التماس كان الضغط الواقع على كل من هذه النقط واحدا فعلى ذلك يكون الضغط الواقع على كل جزء من اجزاء سطح التماس مساويا للقوة الدافعة للجسم على المستوى الثابت مقسومة على عدد هذه النقط

ويكثر في الفنون استعمال عدة عظيمة من الاجسام الموضوعة على المستويات الثابتة في نقط موضوعة وضعا مرتبا على حسب ما تقتضيه قواعد التماثل المذكورة آنفا

وقد يسند الانسان وغيره من الحيوانات ذوات الارجل ثقل اجسامهم على ارجلهم المتماثلة التي مستوى تماثلها هو عين مستوى الجسم فعلى ذلك يكون الضغط الواقع على كل رجل واحدا * وفي الامور الصناعية يجعل لاجل الاشياء المستعملة ثلاث نقط او اربع من نقط الارتكاز ويطلق على اجزاء الجسم التي تباشر الارض اسم الارجل لعلاقة المشابهة بينها وبين الارجل الحقيقية لانها في الغالب تكون على صورة رجل الانسان او غيره من الحيوانات وذوات الارجل الثلاث هي كاسمها آلة مركبة من ثلاث ارجل فاذا كانت

صورتها مستوفية لشروط التماثل المتقدمة كان الضغط الحاصل لكل رجل على المستوى مساويا لثالث القوة التي تدفع ذات الرجل الثلاث دفعا عوديا على المستوى المذكور والحقائق والاسرة لهما ارجل اربع وهي مستوفية لشروط التماثل المتقدمة وبناء على ذلك يقع على كل رجل من تلك الارجل الاربع ربع الضغط الواقع عوديا على المستوى الثابت باى قوة كانت وهنالك اشياء تحملها مستويات ثابتة على خطوط متواصلة منتظمة في صورة ما اذا استوفى الجسم شروط التماثل يكون الضغط الواقع على جميع نقط هذه الخطوط واحدا وعليه فيكون الضغط الواقع على كل واحدة منها على نسبة منعكسة عن نسبة طولها الكلى

ويستعمل في القنون غالباً سطوح الدوران فتوضع على مستوى M من الثابت (شكل ٨) وتكون مماسة لهذا المستوى على شكل دائرة

ا ب ث الموازية لها فاذا كانت القوة التي تضغط السطح على المستوى تضغط هذا السطح ايضا على محوره كان بالضرورة الضغط الواقع على جميع نقط دائرة التماس واحدا هذاولم تنوغل في بيان تطبيق هذه العمليات على الصناعة

ولنفرض أن جسم **ب ث ف** (شكل ٩) الموضوع على مستويين ثابتين كستوى **ا و ٢** يكون مماسا لهما في نقطتي **ب و ث** فلاجل أن يكون هذا الجسم الواقع عليه تأثير قوة **ا ح** متوازنا يلزم بالضرورة أولا أن نحلل هذه القوة الى قوتين متجهتين على حسب مستقي **ح م و ح ن** المارين بنقطتي الارتكاز وهما **ب و ث** وثانيا أن يكون

ح م عمودا على مستوى **ا و ح ن** عمودا على مستوى **٢** فاذا توفرت الشروط انعدم متفوة **ح م** بمستوى **ا** الثابت وقوة **ح ن** بمستوى **٢** الثابت وبذلك يحصل التوازن

ولا يمكن حصول التوازن فيما عدا ذلك لان المقاومة الحاصلة من كل مستو متجهة على العمود الواصل بين نقطتي ارتكاز الجسم على هذا المستوى فيلزم

بذن ان تكون المقاومتان المتجهتان بهذه المثابة موازيتين للقوة لكن لا اجل
توازن ثلاث قوى يلزم أن تكون من جيباً الامر متقابلة في نقطة واحدة وعلى
ذلك فلابد في سائر احوال الجسم المدفوع بقوة على المستويين المماسين له
في نقطة واحدة من أن يكون المستقيم الذي تؤثر فيه هذه القوة والعمودان
القائمآن على كل من قط التماس مارة كلها بنقطة واحدة وحيث يعرف
الضغط الواقع على كل مستو من متوازي الاضلاع الحادث من هذه الخطوط
الثلاثة بأن يؤخذ على الاول منها وتر مساو للقوة

وفي صورة ما اذا كان الجسم مماسا لثلاثة مستويات في نقطة واحدة يلزم أن
تكون القوة المذكورة دائماً موازية للقوى الواقعة في النقط المتقدمة
على الخطوط العمودية على هذه المستويات والدالة على المقاومات المؤثرة
في المستويات وليس يلزم أن تكون سائر اتجاهات المقاومات متقابلة في نقطة
واحدة

ولنفرض جسم $\overline{م ب}$ (شكل ١٠) الواقع عليه تأثير قوتى
 $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ اللتين يتقابلان في نقطة $\overline{ا}$ ويكونان متوازيتين حول
نقطة الارتكاز وهي $\overline{ث}$ على مستوى $\overline{س ص}$ الثابت وقرض
ايضا بدون أن يتغير وضع نقطة الارتكاز المذكورة أن وضع $\overline{ث ا}$
مختل قليلا بأن ندير $\overline{ث ا}$ حول نقطة $\overline{ث}$ فاذا مددنا عمودى
 $\overline{ث د}$ و $\overline{ث ه}$ على $\overline{ا ح}$ و $\overline{ا خ}$ امكن اعتبار $\overline{د ث ه}$
كرافعة منكسرة وبموجب ماقرر في شأن الرافعة تكون مسافة $\overline{د ه}$ التى
تقطعها نقطة $\overline{د}$ ومسافة $\overline{ه ه}$ التى تقطعها نقطة $\overline{ه}$ عند اختلاف
الجسم قليلا مناسبين لقوتى $\overline{ح}$ و $\overline{خ}$ المتقابلتين لهما بمعنى انه
يحدث

$\overline{ح} : \overline{خ} :: \overline{ه د} : \overline{د ه}$ ويحدث من ذلك $\overline{ح} \times \overline{د ه} = \overline{خ} \times \overline{ه د}$
ويمكن في هذه الصورة استعمال قاعدة السرعة المتجهة

وحيث كانت جميع الاجسام مدفوعة دائماً بقوة التناقل لم أن تكون الاجسام
الموضوعة على المستويات مستوفية للشروط السابقة حتى تبقى على توازنها
فاذا فرضنا أن اى قوة تحرك الجسم الموضوع على مستوئيات ولا تمسكه بحيث
يبقى على توازنه لم أن يكون هذا المستوى عموداً على اتجاه التناقل اعنى على
الخط الرأسى

ويلزم حينئذ أن يكون هذا المستوى الثابت اقصيا ليكون الجسم الموضوع
عليه متوازناً من غير أن يكون هنالك قوة تحركه او تمسكه وهذا هو السبب فى كثرة
استعمال المستويات الثابتة الاقصية فى الفنون فمن ذلك تخشيبات المنازل
الفرنجية المستعملة عندهم بدلا عن البلاط فانها تجعل اقصية ليكون ما يوضع
عليها من الامتعة متوازناً وكذلك الانسان فانه لا يتحرك ولا يسقط من
جهة الى اخرى ويمثل هذا السبب جعلوا مستويات التخشات والرفوف
اقصية ايضا

فاذا كانت محصلة ثقل الجسم مارة دائماً بمرکز ثقله لم أن تكون مستوفية لجميع
شروط التوازن ليكون الجسم المخلى لتناقله والموضوع على مستوئيات باقياً
على توازنه

وينتج من ذلك اولا انه اذا كان الجسم الموضوع على المستوى لا يمس
الا فى نقطة واحدة لم أن يكون الخط الرأسى الممتد من هذه النقطة ماراً بمرکز
ثقل هذا الجسم

وثانياً انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت فى نقطتين يلزم أن يكون الخط
الرأسى الممتد من مرکز ثقل هذا الجسم ماراً بالمستقيم الواصل بين نقطتي تماس
الجسم مع هذا المستوى الثابت

وثالثاً انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت فى اكثر من نقطتين يلزم أن
الخط الرأسى الممتد من مرکز ثقل هذا الجسم لا يمس المستوى الثابت
فى نقطة واحدة موضوعة خارج المصلح الخالى عن الزوايا الداخلة الحادثة من
الاستقيامات التى يصل كل واحد منها بين نقطتين من نقط تلاقى الجسم مع المستوى

الثابت المذکور

ولترجع الى موضوعنا وهو ما اذا كان الجسم مستندا على نقطة واحدة ومتوازنا نقول مما يسهل علينا مشاهدته أن كل جسم كروي مثل أ ب ث (شكل ١١) متجانس المادة تثبت له هذه الخاصية وهي أنه اذا وضع على مستواقي كان متوازنا فيه بالضرورة لان مركز ثقل هذا الجسم يتحد بمركز شكله ويكون كل نصف قطر مثل غ ح ث عمودا على مستوى م ن الافقي الذي يمر الكرة في نقطة ث فاذا كان يكون مستقيما ع ح ث العمودي على مستوى م ن الافقي رأسيا وحينئذ تكون قوة غ ح المكافئة لتأثير ثقل هذا الجسم على م ن مستوية لساير الشروط التي لابد منها في التوازن

ولناخذ جسما مثل أ ب ث (شكل ١٢) له صورة كالسحقة يكون حادثا من دوران قطع ناقص حول محوره الكبير فاذا وضع هذا الجسم على مستواقي بحيث يكون المحور الكبير وهو أ ب اقبيا كان التوازن حاصل لان غ الذي هو مركز ثقل هذا الجسم المتجانس المادة فرضا يتحد بمركز شكله كما في الجسم الكروي ويكون خط ح غ ث الرأسى الممتد من المركز مارا بنقطة ث التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى الافقي

ويحصل التوازن ايضا اذا وضع جسم أ ب ث على وجه بحيث يكون المحور الكبير وهو أ غ ب (شكل ١٣) رأسيا لان محصلة ثقل هذا الجسم اذا كانت مارة بمركز غ كانت مارة ايضا بنقطة أ

ولكن هناك فرق ظاهر بين حالتى التوازن وهواته اذا تغير وضع هذا الجسم قليلا (شكل ١٢) فتحرك فورا حتى يصل الى الوضع الذي يحصل فيه التوازن واذا تغير وضع الجسم (شكل ١٣) قليلا تباعد عنه شيئا فشيئا حتى يسقط

وقد يكون التوازن الاول ثابتا والثاني غير ثابت ويكنى بالثابت وغير الثابت

عن القوة التي تقرب بها الاجسام او تبعد من اوضاع توازنها عند تحولها عن تلك الاوضاع

(ويمكن بواسطة ما اسلفناه من النتائج حل هذه المسئلة وهي أن نقرض جسمين بجسمي ا ب ث و ا ر ث (شكل ١٦) توازنهما غير ثابت

وموضوعين على مستوى م ن بحيث يكون خطا ا غ و ا غ رأسيين والمطلوب تحصيل الشروط التي لا بد منها في توازن هذين الجسمين المخترفين عن وضع توازنهما وان كانا مستندين على بعضهما في نقطة ك فلاجل مزيد السهولة نفرض أن هذين الجسمين متساويان بالكلية وأن ميلهما واحد وليكن ح رمز القلعهما

فيكون كل منهما عمالداً خر على مستور رأسي ويحدث من كل منهما على الآخر ضغط واحد كضغط س = م وليكن الآن غ ه و غ ه

هما الرأسيان النازلان من قطبي غ و غ التين هما مركزا ثقل هذين الجسمين ولكن ث و ث هما نقطتا تلاقيهما مع مستوى م ن فيكون مقدار ح بالنسبة الى جسم ب ث د هو ح × ث ه وبالنسبة الى جسم س د ه هو ح × ث ه وهذان المقداران متساويان لكن حيث ان س و م هما كناية عن الضغط الحاصل من كل من الجسمين على الآخر فاذا اخذنا من قطبي الارتمكاز وهما ث و ث عمودي ث س و ث م على هذين الجسمين حدث س × ث س = م × ث م وهو المقدار المحصل من هذا الضغط

وحيثئذ يلزم أن يتحصل في حالة التوازن

$$\underline{\underline{ح \times ث ه = س \times ث س = ح \times ث ه = م \times ث م}}$$

فاذا كانت الاجسام ثلاثة فان حل المسئلة يكون على الوجه السابق بان نجعل مقدار ح × ث ه الذي هو مقدار كل جسم منها متوازنا مع

الضغط الحاصل من كل من الثلاثة على الآخرين
ويحل العساكر هذه المسئلة بوجه آخر على وذلك انهم يضعون ثلاث بنادق
الى بعضها فانما توازن كل منها على θ التي هي زاوية الكعب لم يكن توازنه
ثابتا بخلاف ما اذا تقاطعت السنج بحيث يحصل من طرف كل منها ضغط
على الآخرين فان التوازن يكون ثابتا وحساب الضغط الحاصل من كل
بنادقة على الآخرين ليكون التوازن حاصلا في هذا الوضع هو على غاية من
السهولة

ولتختبر قياس القوة التي توصل الجسم المقروض الى حالة التوازن او تبعده
عنها بان نبدأ بالوضع الاول فنقول اذا فرض أن محور AB الكبير يعميل
قليلا كما في (شكل ١٤) بحيث لا يكون عماسا للمستوى الافقي في نقطة

θ وانما يكون عماسا له في نقطة δ فلا يكون حيث θ غ θ
اتجاه محصلة ثقل الجسم بل يكون اتجاها هو θ غ θ

فاذا اثرت الان قوة $\theta = \theta$ في جسم AB وادارته حول
نقطة الارتكاز وهي δ بواسطة ذراع رافعة يساوي δ فان المقدار
الذي به يختص ثقل الجسم جزء θ غ θ ويرفع جزء θ غ θ
يساوي $\theta \times \delta$ لكن حيث كان θ الذي هو ثقل الجسم باقيا على
حالة واحدة فكلما تباعد الجسم المذكور عن الوضع الاصلى كبر δ وكلما كبر
مقدار $\theta \times \delta$ فان الجسم حيث يعود مع الشدة الى وضعه الاصلى فاذا
خلي ونفسه وصل بطبعه الى الوضع الذي يكون فيه متوازنا وهذا التوازن
هو المعروف بالتوازن الثابت

فاذا اتقنا مستقيم δ غ θ الرأسي حتى يصل الى مستقيم θ غ θ
الذي هو رأسي في وضع التوازن ثم مددنا خط θ غ θ الافقي حدث δ
 $= \theta$ غ θ فعلى ذلك يكون $\theta \times \delta$ مساويا للمقدار الذي
ياخذه الجسم وضعه الاصلى واذا فرضنا أن زاوية θ غ θ صغيرة

جدا امكن أن نعتبر أن $\overline{غ غ}$ مساو للقوس المرسوم بنصف القطر وهو

$\overline{و غ}$ بين $\overline{و غ ث}$ و $\overline{و غ د}$ من نقطة و المعتبرة مركزا

ثم ان نقطة و هي التي تعرف عند المهندسين بنقطة مركز انصباب الجسم

بجسم اثب فعلى ذلك اذا كان التوازن ثابتا كان مركز الانصباب

فوق مركز الثقل دائما وفي صورة ما اذا كان لميل الخط الرأسى الحديد وهو

$\overline{و د}$ على الخط الرأسى الاصلى وهو $\overline{و ث}$ درجة ثابتة يكون قوس

$\overline{غ غ}$ مناسب للنصف القطر فاذا $\overline{ي ك}$ يكون مقدار $\overline{ح} \times \overline{غ غ}$

مناسبا ايضا لنصف قطر $\overline{غ و}$ ومساويا لبعدها مركز الثقل وللمركز الانصباب

وحينئذ يؤخذ من هذا البعد قياس بيات الاجسام

ولنتكلم على الوضع الثانى فنقول اذا فرضنا انه بعد وضع جسم اثب

على $\overline{أ}$ التي هي طرف محوره الاكبر انحرف عن وضع توازنه قليلا كما في

(شكل ١٥) الذي فيه نقطة $\overline{د}$ الحديد هي نقطة تلاقي الجسم مع

المستوى الافقى فاذا ممدنا خط $\overline{غ د}$ الرأسى فانه يقع خارج تقطعي

$\overline{أ و د}$ ويحدث معنا لقياس القوة التي بها يجذب ثقل $\overline{ح}$ الجسم

حتى يسقط هذا المقدار وهو $\overline{ح} \times \overline{د ز} = \overline{ح} \times \overline{غ غ}$

وفي هذه الصورة كالتي قبلها اذا كانت زاوية $\overline{غ و غ}$ صغيرة جدا السكن

أن نعتبر أن $\overline{غ غ}$ قوس مركزه نقطة و فيكون حينئذ نصف قطر

$\overline{و غ}$ مناسب لبعده $\overline{غ غ} = \overline{د ز}$ بالنظر لميل محور $\overline{أ ب}$

بالنسبة للخط الرأسى

ونقطة و المعروفة بمركز الانصباب في هذه الصورة تكون تحت مركز الثقل

لا فوقه

وبالجملة فبعدها عن مركز الثقل يستعمل لقياس عدم ثبات الاجسام الثابتة

كما استعمل في الصورة السابقة (شكل ١٤) في قياس ثبات جسم

اثب الموضوع على مستوى $\overline{م ن}$

فإذا اتحد مركز الاتصاف وهو $و$ بمركز الثقل وهو $ح$ لزم اتحد خطي $ود$ و $ع$ و الرأسين يعضهما الا انه في هذه الصورة يكون الخط الرأسى المار بمركز الثقل المذكور مارا ايضا بنقطة الارتكاز وهي $د$ وينعدم بعد $د$ وعليه فيكون مقدار $ح$ \times $د$ $=$ ٠ فاذن لا يكون هنالك جهد يتحرك به الجسم فيبقى متوارنا

وبالجملة حتى اتحد مركز الاتصاف بمركز الثقل كان التوازن باقيا على حاله بعد انحراف الجسم ويسمى التوازن في هذه الحالة بالتوازن الموافق فاذا كان مركز الاتصاف فوق مركز الثقل فان الجسم اذا اختل وضع توازنه يعود الى وضعه الاول فيكون التوازن حيثئذ ثابتا وما اذا كان تحته فان الجسم اذا اختل وضع توازنه يعود عن هذا الوضع شيئا فشيئا ويكون التوازن حيثئذ غير ثابت

وفي جميع هذه الاحوال يكون قياس الثبات او غير الثبات معلوما من حاصل ضرب ثقل الجسم في بعد مركز الثقل عن مركز الاتصاف المعتبر هنا مركز الانحناء قوس $آد$ المرسوم على الجسم بين $آ$ و $د$

وبذلك تكون خواص ثبات الاجسام المتحركة على المستويات الثابتة من قبيل خواص انحناء السطوح (كما تقدم في الدرر الخامس عشر من الجزء الاول) واذا كان الابدان من نقطة ثابتة كان انحناء الجسم متماثلا بالنسبة لاتجاهين عمودين على بعضهما وكان ثبات الجسم على مستواقي متماثلا ايضا بالنسبة لاتجاهين عمودين على بعضهما وكان احد هذين الاتجاهين هو اتجاه الثبات الاكبر والاخر اتجاه الثبات الاصغر وكان الثباتان المتوسطان متساويين متى كانا مأخوذين بالنسبة لمحورين اقصيين ويحدث بينهما وبين اتجاه الثبات الاكبر زاويتان مساويتان للزاويتين الواقعتين بينهما وبين اتجاه الثبات الاصغر وهلم جرا

ويؤخذ من هذه المسئلة النظرية المتعلقة بثبات الاجسام المتحركة قليلا عن وضع توازنها تطبيقات مهمة تتعلق بعبثة الاهالى وثورتهم وشرف الدولة

وقوة شوكتها من ذلك السفن التي يكون توازنها ثابتا على البحر فانها تسير
امنة لاجل جلب ادوات الصناعة او الذب عن الوطن بخلاف ما اذا كان
توازنها غير ثابت فانها ربما اقلبت وصار عالمها سافلها وغاصت في قاع البحر
بمن فيها من الملاحين والعساكر ولنظرية ثبات السفن مزيد تعلق بالقواعد
التي ذكرناها آتفا غير أن كمالها يتوقف على قواعد اخرى مبنية على قوة السوائل
(راجع مجتبه القوى المحركة في الجزء الثالث من هذا الكتاب)

ولما انتهينا الكلام على توازن الجسم فوق المستوى الافقي وجب أن نشرع
في الكلام على توازنه فوق المستوى المائل المعروف في اصطلاحهم بالمستوى
الذي ليس اقويا ولا رأسيا فنقول

يقاس ميل هذا المستوى بالزاوية الحادثة منه مع المستوى الافقي وبموجب
الهندسة (كمافي الدرس السابع من الجزء الاول) يتوصل الى قياس تلك
الزاوية الحادثة من المستويين المذكورين بقياس الزاوية الحادثة من خطين
مستقيمين احدهما على المستوى الافقي والثاني على المستوى المائل وكلاهما
ممتد من نقطة واحدة امتدادا عموديا على تقاطع المستويين

ولنجعل خط م ن الافقي كناية عن المستوى الافقي (شكل ١٧)
ومستقيم ا ب كناية عن المستوى المائل وهذان الخطان يحدث عنهما
زاوية مماثلة للزاوية الحادثة بين المستويين المذكورين

ولنضع جسما ايا كان بجسم س على ا ب فان لم يكن هنالك قوة اجنبية
تمسكه امكن حل ثقله وهو غ ح الى قوتي غ غ و غ ح اللتين
احدهما موازية للمستوى المائل والاخرى عمودية عليه وينعدم تأثير القوة
الثانية اذا لم يقع عمود غ ح خارج المضلع الحادث من وصل نقط التماس
بعضها بواسطة خطوط مستقيمة فيمكن حينئذ ان يطبق على تلك القوة سائر
ما ذكر في شأن التوازن الثابت وغير الثابت والموافق المتعلق بالاجسام المستندة
على المستويات الافقية

واما قوة $\overline{غ}$ بحيث انها مؤثرة بالتوازي لمستوى $\overline{ث}$ لا يحصل لها مقاومة ما من هذا المستوى فان لم تكن هناك قوة اجنبية تعارضها زحلت الجسم على طول المستوى المائل

ثم ان نسبة المسافة التي يقطعها هذا الجسم على المستوى الى المسافة التي كان يقطعها في زمن واحد عند سقوطه بلا معارض على $\overline{غ}$ كنسبة قوة $\overline{غ}$ الجاذبة للجسم بالتوازي لمستوى $\overline{ث}$ الى قوة $\overline{غ}$ الجاذبة له جذبا رأسيا

واما ان تحرل الجسم بواسطة قوة $\overline{غ}$ او كان ممسكا بقوة $\overline{غ}$ المساوية لها والجاذبة له في جهة مقابلة لجهتها فانه متى اريد حصول التوازن يلزم ان يكون عمود $\overline{غ}$ واقعا على النقطة التي يكون فيها الجسم مماسا لمستوى $\overline{ث}$ المائل اذا لم يكن هناك الا نقطة تماس واحدة فاذا كان هناك عدة نقاط لزم أن يقع ذلك العمود في المضاع الخالي عن الزوايا الداخلة الحادث من وصل كل نقطتين من النقط التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى المائل وهذه القضية النظرية لها فائدة عظيمة في تطبيقها على ثبات العربات الساكنة والمتحركة

واذا كان جسم بجسم $\overline{غ}$ (شكل ١٨) متوازنا على مستوى $\overline{ث}$ المائل بواسطة قوة واحدة كقوة $\overline{غ}$ الموازية لهذا المستوى لزم أولا عند تحليل $\overline{غ}$ الذي هو ثقل الجسم الى قوة $\overline{غ}$ و $\overline{غ}$ أن قوة $\overline{غ}$ المؤثرة بالقرص في $\overline{ث}$ تأثيرا عموديا تجعل ذلك الجسم المجرد عن التناقل بالقرص متوازنا على $\overline{ث}$ وثانيا أن قوة $\overline{غ}$ تمر بمرکز الثقل وهو فيحدث اذن هذا المناسب وهو

$$\text{قوة } \overline{خ} : \text{قوة } \overline{ح} :: \overline{غ} : \overline{غ}$$

فاذا مددنا $\overline{ن}$ و $\overline{و}$ عمودا على مستوى $\overline{م}$ $\overline{ن}$ الاقصى كان مثلثا $\overline{ان و}$ و $\overline{ح غ}$ متشابهين ويحدث من ذلك هذا المناسب وهو

$$\overline{او} : \overline{ن و} :: \overline{غ ح} : \overline{غ غ} = \overline{غ غ}$$

اعنى أن نسبة نقل الجسم الى قوة $\overline{غ غ}$ الموازنة له كتسبة او الذى هو طول المستوى المائل الى $\overline{ن و}$ الذى هو ارتفاعه

واذا كانت قوة $\overline{غ غ}$ (شكل ١٩) اقصى لزم أن تكون $\overline{غ ح}$ التى هى محصلة قوى $\overline{غ غ}$ و $\overline{ع ح}$ مارة بنقطة $\overline{ح}$ التى يماس الجسم فيها المستوى فيحدث من ذلك هذا التناسب وهو $\overline{غ ح} : \overline{غ غ} = \overline{ع ح} :: \overline{م ن} : \overline{ن و}$ اعنى أن نسبة نقل الجسم الى القوة الموازنة له تكون كتسبة قاعدة المستوى المائل الى ارتفاعه وهذه القضايا السهلة يكثر استعمالها فى علم الميكانيكا

ولنضم هذا الدرس بنبذة مختصرة ملخصة من رحلاتنا الى ابريطانيا الكبرى تتعلق بالقوة التجارية والطرق السلطانية اتينا فيها بما لا بد منه فى سكك الحديد ذات الاخاديد والمستويات المائلة المستعملة فى ابريطانيا الكبرى لانه لا مانع من ان هذه السكك والمستويات المائلة تكون عظيمة الجدوى فى العامل المعدة للصناعة بمملكة فرنسا فنقول

ان صناعة سكك الحديد ذات الاخاديد منحصرة فى صورتين متباينتين تبأينا كلياً احدهما أن يكون النقل حاصل على اتجاه واحد والثانية أن يكون على اتجاهين متقابلين

واسهل ما فى الصورة الاولى أن ترفع الاحمال المعدة للنقل رفعا رأسيا بواسطة الاكالات حتى تصل الى رأس السكة المائلة وهو رأس لا يتجاوز العربات بل تأخذ فى الهبوط عند الوصول اليه

فاذا كان المطلوب هبوطها لاجل توصيل احمالها الى التهرات او الخلبان او السكك الكبيرة سواء كانت المسافة كبيرة او صغيرة فانه بواسطة السكك المطروقة ذات الاخاديد يسهل النقل مع حصول الفائدة * والكيفية الناجمة فى ذلك أن يعطى ما يلزم من الاخشاب للتجارة وللعمارات الداخلية التى تكون

في الاماكن المرتفعة البعيدة جدا عن النهر حتى يتأتى بواسطة السكك ذات
الاخاديد من غير احتياج الى كثرة الرياح الطيبة وصول تلك الاخشاب الى
الخلجان وعمومها فيها وهذا من الاغراض المهمة جدا في القوة والتجارة
البحريتين وفي كثير من فروع الصناعة القرشجية

ثم ان اتفق الانحدارات واكثرها ملائمة للسكك ذات الاخاديد هو ما لا يمنع
العربات الموسوقة من اخذ منحرك منتظم بواسطة تأثيراتها الا غير فاذا سار
القرس في هذا الانحدار وكان يجتزأ قطارا من العربات لم ينجح في ذلك الا الى
القوة اللازمة للظفر بان يرسى الجسمات التي تنقلها وبالوانع الصغيرة التي تحدث
عما يكون في سكة الحديد من الخشونة والتضاريس الهينة الخفيفة

وينبغي أن يكون عدد العربات الموسوقة التي يجتزأها القرس مساويا لعدد
العربات الكثيرة الفارغة التي يصعد بها على تلك السكة وعلى ذلك فكلما كبر
ميل السكة قل هبوط القرس بالعربات في كل مرة من سيره ويؤخذ من ذلك
أن هناك انحدارا اتفق مما عداها من سائر الانحدارات وهو ما استعملت فيه
قوة القرس كلها صعودا وهبوطا بدون تلك الشئ وكلما تقلت العربات الموسوقة
لزم أن يكون الميل الذي تبتدى فيه بالهبوط بنفسها قليلا وأن يكون عدد
العربات الفارغة التي يصعد بها القرس الى هذا الميل كثيرا وحيث نذ فاستعمال
العربات الكبيرة في هذه الصورة اكثر فاعا واتم فائدة كعربات ضواحي مدينة

نوكاستل التي كل واحدة منها تحمل ٢,٥٠٠ كيلو غرام ويزن ثقلها ١,٥٠٠

كيلو غرام فهي اولى من عربات ضواحي مدينة جلاسغوف التي لا تحمل كل
واحدة منها الا ٦٠٠ كيلو غرام ولا يزن ثقلها الا ٣٠٠ كيلو غرام

وصندوق هذه العربات (اي عربات نوكاستل) على شكل هرم ناقص مربع

مخوف ومكشوف من اعلاه وعرض قاعدته السفلى ٦ ر ١ وطولها ٢

وطول قاعدته العليا من ٨ ر ٢ الى ٣ وعرض كل ضلع من اضلاعه

المائلة على الافق بقدر ٥° تقريباً يبلغ ٦ و ١^م ويوجد في عمق العربية طاقة معدة لتفريغ وسقها وهي موضوعة في طرف العربية المقابل للسفن التي يراد وسقها وعليها قدمان من الحديد لاجل سدها يدوران بواسطة لولب وينزلان على الواجهة المائلة التي تكون في مقدم العربية فيشكبان هنالك الرزتين او مسجارين معوجين فاذا اردنا غلق تلك الطاقة ادخلنا شوحيه صغيرة في حلقى الرزتين فاذا اخراجناها وخلصنا قدمي الحديد اتفتحت بسبب تأثير وسقها واهبط ذلك الوسق بين عجلاتها الاربع

وهناك طاقات في مقدم العربية وموخرها معدة لربط حبل الشد بها اذا اريد ذلك وقطر عجلات حديد الصب يبلغ ٦ او ٧ دسيترات وعرضها الافق ١٥ او ١٦ ستيترا وبها فتحة داخل دائمة في سكة الحديد وعرض السكة ١٤ او ١٥ دسيترا

ولنذكر الان جملة من خواص السكة ذات الاخاذيد الشهيرة التي توصل الى شواطئ نهر الوار بقرب سوندرلند فنقول

ان معدن الفحم الذي هو مبدأ تلك السكة بعيد عن المكان الذي ينزل منه الى السفن بقدر ١٠ كيلومتر تقريباً ولا يوجد في سائر امتداد هذه الارض التي تقطعها العربية انحدارات عظيمة وانما كان هنالك تلال تعارض العربات قليلاً فاحدثوا بها مسلكاً لاجل المرور وهذه السكة توصل الى ساحل منحدري يكتنف نهر الوار بواسطة جسر افقي متجه الى الطبقة الاولى من مخزن متسع مبني في اعلى هذا الساحل وطول هذا المخزن تقريباً ٥٠^م وعرضه من ٢٠^م

الى ٣٠^م ويزيد ارتفاعه عن الاستواء المتوسط من مياه النهر باربعين متراً فاكثروا هو مركب من ثلاثة اجزاء طولية متفرقة عن بعضها باصفيين من الاعمدة وكل من سطوح الطبقة الاولى الثلاثة يتصل به سكة من الحديد وكل سطح منها ممتد من اول المخزن الى آخره واثواب المخزن على بعد واحد من بعضها مفتوحة

بين مساند الحديد الموجودة بهذه السكة فإذا اتت العربات موسوقة بالمعدن دخلت في الطبقة الاولى منه ثم تذهب الى المسطحات المستديرة المتعطفة التي كل منها كمن مراكزها على سكة من سلك الحديد الثلاثة شمال ميلا خفيفا نحو الربع على تلك المسطحات المستديرة ثم يجرها العربي على السكك الطولية من هذه الطبقة حتى تصبح مسامحة لاحد الابواب لاجل تفرغ الفهم المطلوب في اى مكان من الارض وكل جزء من الاجزاء الثلاثة الطولية من تلك الارض محتو على سكة جديدة من الحديد مبدؤها اول المخزن ونهايتها نهر الوار ومن هذه السكك الثلاثة سكان يجتمعان عند اتصالهما عن المخزن ويصيران سكة واحدة وبعد ذلك يختلطان بالثالثة ويصير الجميع سكة واحدة ثم تنقسم هذه السكة الى فرعين يختلطان ببعضهما قبل اتهاتهما وبعد أن تصل العربات الموسوقة الى مبدأ الانحدار تمر على قنطرة يبلغ اتفراجها مائة متروهي مؤسسة على مجرى عميق ثم تجتاز صخرة يبلغ امتدادها اربعين مترا تقريبا وسكة الحديد في ذلك كله هي كبة من قضبان مسجرة في عدة اخشاب كالشبايك طولها عشرون مترا

والقنطرة المذكورة متخذة من الخشب ومؤسسة كما تقدم على المجرى وجامعة بين الصلاية والخفة وهي كناية عن صوامع مخرسة في الارض غرسا راسيا ومن عوارض ومساند مائلة لتكون صلبة متينة وسطحها ممركب من قطع طولية مغطاة باخشاب السفن القديمة الغير المستعملة

فإذا كانت احدى العربات ماعدة والاخرى هابطة تلاقيا في منتصف السكة وهذا اذا لم يكن هناك الا سكة واحدة واما اذا كان هناك سكان فان احدهما تسلك سكة غير التي تسلكها الاخرى حتى لا يتعارضا ثم تسلك كل واحدة منهما السكة التي تركها الاخرى

ويتخلل المسافة التي بين السكتين ملقات محورها الافقي عمود على اتجاه السكة وبهذه الملقات جبل معد لحفظ العربات عند الهبوط ولشدها عند الصعود وفي اسفل الطريق فصل العربات الى سطح فوق المكان الذي تكون به السفن

المطلوب وسقها فخما وبمنتصف سكة الحديد ثلاث فرجات وهي افواه اقلاع من حديد مائلة بقدر ٤٥° تقريرا

والجزء الاسفل من القمع يتحرك حول لولب افقي يضم الى الجزء الاعلى منه واما اثنا آن الجزء المتحرك فهي متعشقة باثنا آن الجزء الثابت وبذلك لا يسقط القمع الى جهة اليمين ولا الى جهة الشمال ولا جل غلق الجزء الثابت من القمع يستعمل حاجز رأسى فيرفع او ينخفض اذا اريد ذلك بتأثير الرافعة وذلك انه يوجد في كل من طرفي القمع عبارات تؤثر من اعلى دربريزين من الخشب قريبين من الحاجز واما الحبل المعد لحفظ كل عيار فهو ملتف على اسطوانة مخبئون موضوع على الدربريزين به يرتفع الجزء المتحرك من القمع او ينخفض وهذه الكيفية يوضع دائما الطرف الاسفل من الجزء المتحرك على بعد ملائم للفرجة التي توسق منها السفن سواء ارتفعت السفينة بالمداوا وانخفضت بالجزر

* (بيان المستويات المائلة) *

تطلق هذه المستويات على اجزاء السكة ذات الاشجار العظيم المحتاج الى اعانة الآلات لاجل صعود العربات او هبوطها وصناعة هذه المستويات مشابهة لصناعة الاجزاء الاخرى من سكة الحديد ذات الاحاديد

ولتذكر ان هنا طريقة ميكانيكية يعرف بها صعود العربات على المستويات المائلة الموجودة بضواحي مدينة فوكاستل ببلاد انكلترة فتقول

يوجد في اعلى المستوى المائل مكان صغير مركب من حائطين احدهما عن يمين السكة والاخرى عن شمالها وعلينهما سقف وفي داخلهما تحت هذا السقف طارة كبيرة من الخشب اقية موضوعة على شواح متعرجة وبها حلق ملتف عليه حبل ليس مفرط الطول بل بقدر المسافة التي تقطعها العربة الموسوقة عند هبوطها ويوجد تحت هذا الحبل على محيط الطارة الحاجز المعروف بالزمام وهو اقرب شها بزمام طواحين القلنك الذي يمكن للانسان وحده أن يحركه بواسطة رافعة وهذا الحاجز مربوط على ارتفاع لا تقي بسلاسل رأسية معلقة بشواحي المكان المذكور ومضى وصلت العربة الموسوقة الى مبدأ الانحدار وجد العربجي

هناك قرية أخرى فارغة قريبة منه جداً فيلك حيث قد طرف جبل الشد الذي كان اعتد لصعود هذه القرية بالفارغة ثم يقوت الحالة التي بهذا الطرف من يد الحديد الثابتة خلف القرية الموسوقة المطلوب هبوطها وقبل تميم هذه الاعمال تأتي قرية فارغة من المحل الذي هو مبدأ السير الى اسفل الاتحاد فيجد العربي هناك قرية موسوقة فيفكها ويربطها قرسه ثم يربط جبل الشد في القرية الفارغة ويسير

فاذا انقضى هذا العمل دفع العربي بيده قرية الموسوقة فتأخذ في الهبوط على الاتحاد فعند ذلك يصعد فوراً مع النشاط على إحدى جهات هذه القرية قابضاً على الرافعة المجمولة زماماً لأحدى العجلات ويوجد في اصغر اطراف هذه الرافعة قوس دائرة من الخشب نصف قطره كنصف قطر العجلة التي يمتك عليها هذا القوس عند اذنه بطي سيرا القرية ومنع مرعتها فاذا وصل العربي الى اسفل الاتحاد نادى بأعلى صوته الوقوف الوقوف فعند ذلك يحرك المتوط بالزمام الاكبر هذا الزمام تحت المكان المتقدم ذكره ويمجى ذلك في كل عريتين احدهما فارغة والاخرى موسوقة

وعلى ما ذكرناه من القواعد يلزم أن القوس المعدلجز العربات على سكة الحديد ينزل جميع قوته عند صعود عدة عربات فان كانت صورة الارض تقتضى تغير الاتحادات وتوهمها لزم أن تعمل على وجه بحيث يكون ملائماً لهذه العدة وعلى ذلك فلا بد أن تكون سكة الحديد ذات الاحاديد مركبة من خطوط مستقيمة يتألف منها مضلع مستو او من خطوط منحنية متحدة الاتحاد في جميع طولها وحيث يمكن بواسطة التجارب الصحيحة أن تعين درجات الميل المتنوعة التي يلزم أن يكون السير بحسبها

ولاجل عدم ضياع الزمن بلا فائدة في ربط التحليل وحلها يلزم أن يكون لكل فرع ثابت الاتحاد من سكة الحديد طول يكفي في تغيير التحليل ولا بد أن يكون عدد التحليل المعتدلة لنقل على نسبة منعكسة من عدد العربات الفارغة التي تصعد هي بها ومن الزمن التي تستغرقه مدة التغيير المذكور في حالي الذهاب والاياب فهذه

الكيفية تقطع العربات المتعددة جميع فروع السكة في وقت واحد ولا تحتاج
الخليل ولا العريجية الى التاني للسابق او اللاحق
ويلائم مزيد الاهتمام وفرط الاعتناء في عمل سكة الحديد بحيث لا يحصل عند
الصعود عليها هبوط الا اذا كان الحبل يقتضي ذلك وطريق اجتناب هذا
الهبوط الحاصل عند الصعود أن يقيم في الوديان الضيقة العميقة تخشيبات
صلبة خفيفة على شكل القناطر الحقيقية ويصنع على سطحها الافقي سكة الحديد
ذات الاخاذيد

ويسهل عمل تلك السكك على قناطر معلقة بسلاسل من حديد
(وقد ذكر المهندس استوانسون ان المجارى الضيقة العميقة المتقاطعة فيما يصنعها
من سكك الحديد يمكن اجتيازها بواسطة مربع من الخشب توضع عليه العربات
فيسير بها الى جهة الامام بواسطة البكرات على طول المستوى المائل المركب
من سلاسل او قضبان من الحديد ممتدة من احد شاطئى المجرى الى الآخر)
واذا كانت الارض مرتفعة قليلا فانه يمكن عند اقتضاء الحال عمل سكك انصية
واحداث اما كن لتغيير الخليل يكون انحدارها ثابتا وذلك اما بواسطة الحفر
والردم بطريق مضبوطة لاجل اختصار طول الطريق واما بواسطة عمل
انعطافات وتعاريج كثيرة يتحقق فيها شرط التصرف الاصغر في عمل السكة
لتعلم فائدة النقل قبل حصوله ويجرى في هذه الصورة القواعد المقررة في غيرها
من سائر انواع السكك

وهناك صورة تنص سكك الحديد ذات الاخاذيد المعدة للنقل في اتجاه واحد دائما
وهي انه بواسطة المستوى المائل يمكن رفع الاحمال فوراً الى الارتفاع المطلوب
الذي يعقبه هبوطها الى الحبل المراد وصولها اليه على اقصر انحدار
فاذا كانت كمية النقل الكلية واحدة في الذهاب والاياب (زم عمل الانحدارات
على وجه بحيث تكون مساعدة للجهتين) ويشترط في ذلك شرط لا بد من تحقيقه
هنا وهو أن تخفض النقط العليا وتلطف المستويات المائلة من غير أن يكون
ذلك ميباً في طول سكة الحديد طولاً مفرطاً ولا في كثرة المصاريف وقد جرت

العادة بعمل سكتين متجاورتين من ذوات الاخاديد احدهما للذهاب والاخرى للاياب

ولنشرع الآن في الكلام على صناعة سكك الحديد ذات الاخاديد فنقول انها تقسم باعتبار اخاديدها الى قسمين احدهما الترام وى او البلاوى وهو ما تكون فيه الاخاديد مسطحة ومركبة من قضبان من حديد الصب اى الزهر وفوقها ثناء بارز على طولها من خارج وتحتها حرف بارز يكسب القضيب قوة كافية لجل ثقل عمل العربات من غير أن يعرض له كسر وذلك أن هذه العجلات الاسطوانية تقف على الاخدود والقسم الثانى الادجوى وهو ما تكون فيه الاخاديد مجوفة ومركبة من قضبان متلاصقة غليظة ومستديرة من اعلاها لانه يوجد في عجلات العربات حلق كحلق البكر يشدك به القضيب من طرفه المستدير فاما الاخاديد المسطحة فينشأ عنها مضرة عظيمة وهى ازدياد الاحتكاك زيادة منفرطة عند ملاقة الارض لان ما يتعلق بالعجلة من التراب والرمل والحصى يتساقط ويقف في الاخدود المسطح واما الاخاديد المجوفة فلا يوجد فيها هذه المضرة فهى لعدم المانع قابلية لجل الانتقال الكبيرة ومقدمة على غيرها في الاشغال الجسيمة وعليها جرى العمل في بلاد غالة واما في ضواحي مدينة نوكلستل فيستعمل فيها المسطحة كالمجوفة وقضبان الاخاديد المجوفة تتخذ من الحديد المطرق وعرض كل قضيب ٤ سنتيمتر وممكن الرأسى الذى هو اكبر من العرض دائما يكون مناسباً لما يوضع عليه من الاحمال وليست فائدة الاخاديد المجوفة هو مجرد تقليل الاحتكاك بل يضاف الى ذلك ايضا مقاومتها للاحمال العظيمة وليس ذلك موجودا في المسطحة نظراً لصورتها ولكون موادها اقرب للتلف من الاولى

وقد ذكر المهندسون استوائسون ان السكة ذات الاخاديد المجوفة التى تحمل عربة يرميلين تكون زنة حديد هاستين كيلوغراماً عن كل متر من الاخدود المزروج بعدا قضاء عمله ويكنى ايضا ما دون ذلك غير أن السكة السلطانية يلزم أن تكون ملاية اخاديدها بقدر الحاجة حتى لا تحتاج الى ترميم

يؤدى الى زيادة اجرة العملة عن مقدارها الاول

ويكفى على ما ذكره المهندس غلواس أن يكون طول كل قضيب من قضبان
الاخاديد المسطحة ٢٠ ر^١ وأن تكون زنة كل قصيبين مع مسنديهما من
٤٠ كيلو غراما الى ٥٠ ويكفى ايضا في السكك ذات الاخاديد المحقوفة
المعدة لسير العربات الكبيرة أن تكون زنة كل قصيبين مع مسنديهما من ٤٠
كيلو غراما الى ٥٠ واما في المسطحة المعدة للنقل في عربات صغيرة تجزها
الخيول فيكفى أن تكون زنتهما مع المسدين ٢٥ كيلو غراما ويكفى ١٨
فيما اذا كانت تلك العربات يجزها العربية

(وما ذكره هذا المهندس في تحديد طول القضبان يختلف باختلاف الاماكن
وانواع النقل وقد ذكر ايضا في رسالته المشحونة بالقوائد التي القها في سكك
الحديد ما يفيد أن طول كل قضيب من قضبان سكك الحديد المحقوفة ٨٩
سنتمترا وعرضه ٣٣ ملمترا وأن تلك القضبان تمر بعوارض من الخشب
او حديد الزهر ثابتة او محمولة على بسطات من البناء وأن طول كل قضيب من
قضبان السكك المسطحة ٢ ر^١ وعرضه ٨ ر^٢ في الجزء الذي يجرى
عليه العجلة وبذلك هذا الجزء يساوى ١٥ ر^١ وارتفاع الانثناء ٥٤ ر^١
وسمكة المتوسط ١٠ ر^١)

ثم ان احكام وضع هذه الاخاديد ومئاتها مما لا يد منه في السكك ذات الاخاديد
اذ يدون احكام وضعها ووراء محالها ينشأ عن الجهد الواقع عليها من عجلات
العربات الموسوقة أن بعض المساند يغوص فيها بمقدار ٢ سنتمتر فقط فيكون
المقدار احد قضبان الاخدود في هذه الحالة بمقدار واحد من سنتين فيلزم حيث نذ
لاجل جر العربات حيث تكون السكة اقصية تضعيف القوة المستعملة

وقد كانت سكك الحديد ذات الاخاديد سابقا خالية عن الثمرة الحقيقية مع أنها
كانت قابلة لأن يحصل عنها كثير من القوائد وذلك لان هذا النوع من السكك

كان متجاوزا الحد في الصعوبة (فان طبيعة الارض ودرجاتها عمالة تأثير عظيم في صلاحية هذه السكة) فقد صرفت مبالغ جسيمة في عمل مساند من الحجارة اللينة مع انها اذا وضعت على سطح الارض تكون عرضة لتنوع الحرارة والرطوبة

فلاجل جبر هذا الخلل اقتضى الحال أن تسند الاخاديد بالواح غليظة من الحديد الصب اي الزهر وتسمى اطراف اجزاء هذه الاخاديد على اطراف تلك الاواح والظاهر أن منافع استعمال الحديد الزهر دون منافع استعمال الحديد المطرق فان الاخاديد المتخذة من الحديد المطرق ليست كالاخاديد المتخذة من الحديد الزهر في كونها عرضة للكسر عند ثوب العرب وملاقاتها لحصاة او حجر صغير يكون على الاخدود وقد شوهد منذ اكثر من ثمان سنوات سكة من الحديد المطرق معدة لاشغال تد الفيل باقليم كبرلاند وشوهد بها ايضا سكان من الحديد الزهر فكأن الاولى حسنة الاستعمال من جميع الوجوه وكانت في المصاريف دون السكتين الاخرين وقد جربوا مثل ذلك في ايقوسيا غير مرة فكأن النتيجة واحدة

وهانحن نبين عرض السكة المزروجة ذات الاخاديد على مقتضى ما حسبه المهندس استوانسون في بعض مؤلفاته فنقول

الفرجة التي بين الاخدودين من ١ ٣ الى ٢ ٦

المسافة التي بين السكتين ٢ ٢

جوانب المسالك الضيقة والمجاري والدروات وغير ذلك من ١ ١٥ الى ٢ ٣

فيكون مجموع ذلك ٧ ١

ويمكن بواسطة وضع الاساس من الحجارة الصغيرة وسترها بالحصى عمل فرجة بين كل اخدودين واما السكة الضيقة المعدة للعربية فانه يمكن تثبيتها بالحصى اورغوة المعادن او بالقحم المعدني او نحو ذلك على حسب طبيعة الاماكن

وهنا النوع ثالث من سكك الحديد وهو ما تكون فيه الاخاديد مسطحة بدون انثناء ولا بروز في بعض اجزائها وملصوقة بمنتصف السكة الاعتيادية او المبلطة فوق سطح تلك السكة ومثل هذا النوع لا يلائم الاحمال المستديرة من الحارات والازقة وغيرها من طرق المدينة السلطانية التي تتلاقى فيها العربات على اختلاف انواعها وعظمتها في اتجاهات مختلفة وقد استعملت هذه السكك ذات الاخاديد بمدينة غلاسغوف في المستوى الاعظم ميلا الذي يوصل الى حوض خليج فورت اكليد على ميناء دونداس وهذا المستوى يمكن أن تصعد عليه القرمس الجيدة بنحو ثلاثة براميل وأن تجتز عليه في مدة التهارث نحو برميل ونصف

وقد اشتهر استعمال ما ذكرناه من الاخاديد المسطحة في السكك الكبيرة لاسيما في المستويات العظيمة الميل ولا بد في استعمالها من تغيير الخيل عند الوصول الى تلك المستويات او تفريغ شئ من العربات لاجل عبور الجسور حتى يسهل النقل عليها كالسكة الاحقية الاعتيادية

وترى في شكل ٢٠ المرموز اليه بهذه الاحرف وهي (ا) (ب) (ث) اجزاء موضوعا بهذا انثناءات اخدود الحديد وتجد في شكل ٢١ سكة مزدوجة ذات اخاديد مع عجلات العربات ومحاورها وفي شكل ٢٢ سكة مزدوجة ذات اخاديد تقطعها سكة اخرى

(الدرس الثاني عشر)

في بيان البريمة والالتواء والخيال والخابور وسائر الالات

التي من هذا القبيل

ينبغي لمن اراد أن يعرف هذا الدرس حق المعرفة أن يراجع الدرس الثاني عشر من الهندسة في الجزء الاول من هذا الكتاب لتعلقه بالخطوط والسطوح الملزونية

ولابد أن نورد هنا على وجه الاجمال ما للخطوط والسطوح من الخواص الهندسية تدكيرا لما سبق فنقول ان الخط البريمي او الملزون الاسطواني

هو كناية عن خط متعرج مرسوم على محيط اسطوانة بحيث يحدث عنه في جميع امتداده مع اضلاع الاسطوانة زاوية واحدة فاذا كانت الاسطوانة موضوعة على وجه بحيث تكون اضلاعها رأسية حدث عن الخط البرمبي في جميع امتداده مع احد اضلاع الاسطوانة الرأسية زاوية واحدة ثابتة الميل فاذا فرضنا أن هنالك خطاً مستقيماً له ميل ثابت ويحرك على طول الخط البرمبي ويحدث عنه مع هذا الخط المنحني زاوية واحدة دائماً فانه يحدث عنه سطح حلزوني ويكون المستوى المماس لهذا السطح الحلزوني مائلاً بالنسبة للرأسي في سائر نقط الخط البرمبي

واذا اريد هبوط جسم او صعوده على طول الخط البرمبي فانه يتركز هذا الجسم على السطح الحلزوني يتحرك كتحرك في طول المستوى المائل على خط مستقيم ميله كميل الخط البرمبي وهذا المستوى في الميل كغيره من المستويات المماسية للسطح الحلزوني

وليكن \overline{AM} ور (شكل ١) كناية عن انفراد الاسطوانة التي تصنع عليها بريمة مثلثية (شكل ٢) او مربعة (شكل ٣) فينفرد كل دور من الخطوط (شكل ١) على خط مستقيم طوله وهو $\overline{RB} = \overline{ش}$
 $\overline{دد} = \overline{الخ ثابت}$

فاذا كان جسم من الاجسام الثقيلة عرضة للصعود والهبوط على احد هذه الخطوط كخط $\overline{م م}$ مثلاً وكان ذلك الجسم متوازناً بواسطة قوة افقية كقوة $\overline{ح}$ حدث هذا التناسب وهو نسبة قوة $\overline{ح}$ الى ثقل الجسم كنسبة $\overline{م و}$ الذي هو ارتفاع خطوة البريمة الى نسبة $\overline{وم}$ الذي يساوي محيط الاسطوانة المرسوم عليها خيط البريمة

وحيث تقررت هذه المبادئ وجب أن نشرع في الكلام على كيفية استعمال البريمة فنقول ان البريمة توضع في بيتها البرمبي الذي يوجد في داخله ما يوجب جد فيها من الاسطوانة والخطوط فتارة يثبت في البيت المذكور طارة ذات مماسك

لتدويره كاندور طارة المنجنون وتارة ثبت فيه رافعة او اكثر يكون لها شبه بقضبان المنجنون والمعطاف

وكانوا سابقا يكتبون بجعل رأس بيت البريمة مربعا ويعشقونه ببعضه بواسطة مفتاح تجويفه مربع كجوف البيت لاجل ادارته الى احدى الجهتين (اي جهتي اليمين والشمال)

وهنا البريمات وبيوت بريمات تدور الى جهة اليمين (شكل ٢ و ٣) (كما سبق في الدرس الثاني عشر من الهندسة) وهي اكثر استعمالا من غيرها ويوجد ايضا بريمات وبيوت بريمات تدور الى جهة الشمال فلا يمكن تعشيق بريمة دائرية الى جهة بيت بريمة دائرية الى جهة اخرى تقابلها

وتم نوعان من البريمات وبيوتها احدهما بيت البريمة الثابت الوضع وهو ما تقدم فيه البريمة تارة وتارة اخرى بدوراتها في ذلك البيت الذي لا يتقدم ولا يتأخر لثباته وتكون القوة حينئذ ثابتة في احد طرفي البريمة وهذا الطرف الذي جرت العادة يجعله مربعا يسمى رأس البريمة

وثانيهما البريمة الثابتة الوضع وهو ما تكون فيه البريمة مجبورة على الدوران بدون تقدم ولا تأخر وانما بيتها هو الذي يتحرك بطلوها وفي هذين النوعين تكون القوة والمقاومة الموازنة لها على نسبة منعكسة من المسافتين اللتين تقطعهما هاتان القوتان في زمن واحد كما في توازن المستوى المائل الذي ينسب اليه توازن البريمة

ولكن اذا دارت القوة دورا كاملا حول المحور فانها تقطع محيطا نصف قطره دور بعد المحور عن هذه القوة وحيث ان المقاومة مؤثرة بالتوازي للمحور فانها تقطع في زمن واحد خطوة بريمة فاذا ن تكون القوة مضروبة في المحيط الذي تقطعه حول محور البريمة مساوية للمقاومة مضروبة في خطوة البريمة وعلى ذلك كلما كانت خطوة البريمة صغيرة وكان ذراع الرافعة الذي تؤثر اتوة

١ - طويلا يمكن حصول التوازن بين قوة مفروصة وقوة اومة كبيرة
٢ - يمكن البريمات وبيوتها محكمة الصناعة لزم أن يكون في بعض احوالها

فراغ بين البريمة وبينها وأن تطوى او فرد الخيوط المحبوقة في البعض الآخر لاجل حصول التماس فيلزم أن تكون الآلات المستعملة لصناعة البريمات من حيث صورها وتحتركها على غاية من الضبط والاحكام واذا وقع على البريمة جهود تدفع لاجل ابطال مقاومة حدث من هذا التأثير عليها وعلى بينة افوعان

ف لوخ الى ذلك منها يتألف خيوط البريمة بواسطة قوة الضغط الحاصل بالتوازي للمحور وهي تتو مساوية للمقاومة الحادثة من البريمة سواء كان ذلك في حالة الدفع او في حالة الجذب وهذه القوة تحمل الى عدة اجزاء يمكن اعتبارها كنقط تماس بين البريمة وبينها وجزء المقاومة المنقول الى كل من هذه النقط يكون على نسبة منعكسة من سطح الخيوط المعلوم مقداره في صورة ما اذا كان عموديا على المحور وهذا السطح مناسب لبروز الخيوط في سائر طولها الا أن هنا البروز لا يمكن زيادته بدون أن تكون الخيوط عرضة للكسر يادى اصطدام فان كان جانب هذه الخيوط مثلثا فاللائق عادة أن يكون من المثلثات المتساوية الاضلاع وان كان مستطيلا لزم أن يكون عرض كل خيط بقدر سمكه بمعنى انه يكون مربعا ثم ان نوعي البريمات السابقين يتمازان عن بعضهما بكون خيوط البريمة في النوع الاول مثلثة (شكل ٢) وفي الثاني مربعة (شكل ٣) وتصنع البريمات من الخشب اذا كان كلهم من الجهودات الزاخرة عليها والمقاومات التي تظهر بها تلك الجهودات متوسطة بين الشدة والضعف غير أنه ينبغي لذلك انتخاب نوع من الخشب كالقش والزان وخشب الكمثرى مما تكون اجزائه متحدة اتحادا كاميا في سائر طولها ومثل هذه البريمات يسهل اشلال اطرافها وذلك بذرر عظيم لا يقع في البريمات المصنوعة من المعادن والبريمات المعدنية منفععة عظيمة وهي قابليتها لأن تتحمل قوى مقاومة كانت مع صغر حجمها

هذا ويشق عاينا أن نورد في استعمال الآلات جميع عمليات البريمة على وجه التفصيل وانما نقول ان الغرض الاصلى منها احداث الضغط الشديد

كأى البريمة التى يستعملها بحمد الكتب لضغط اوراقها
وكذلك البريمات الرافعة فان الغرض الاصلى منها ايضا هو احداث الضغط
المذكور ويوت هذه البريمات ثابتة وممتدة على شكل الهرم الناقص المربع
الذى تكون قاعدته على الارض واما البريمات فهى متحركة بذراع او ذراعين
من الرافعة (راجع شكل ٤)

واذا كان المطلوب ضم جسمين صليين الى بعضهما والصاقهما الصاقا تاما لزم
تجهيها بمسار او فتحوه (شكل ٥) مما يكون له رأس بارز لاجل الامساك
وبعض ادوار من خيوط البريمة وهو المسار المعروف بالقولوز
فاذا ادخلنا السمار فى الثقب تقدم من الجسمين المطلوب ضمهما وصار بمنزلة البريمة
التي فى داخل بيتها ثم يغلق هذا البيت بفتح مربع شبيه بالفتح الذى تقدم
ذكره فى هذا الدرس ويمكن بهذه الكيفية ضم عدة عظيمة من قطع الاخشاب
المهمة سواء كانت من اخشاب الاشغال البرية او البحرية

وتم بريمات خيوطها مرنة منفصلة عن بعضها كبعض يليات العربات المعروفة
بليات القبض (انظر الدرس الرابع والخامس عشر)

ولامانع من أن تعتبر البريمة كاسطوانة مضرمة معدة لايصال الحركة الى
الطارات المضرمة وهو ما يعرف بالبريمة غير المتناهية
وتستعمل هذه البريمة فى كثير من الآلات كالالة المعدة لتحريك السفود
وربما التبتت بالمخنون والمعطاف وما شاكلهما

ويمكن ضم البريمة الى الطارة المضرمة واصلتها بها بواسطة التعشيق كأى شكل
وبهذه الوساطة تنتقل الحركة من محور س الموازى لمستوى المسقط الى
محور آخر عمودى على هذا المستوى تدل عليه نقطة و

ولتكن ف هى القوة الواقعة على مانوية ش ح فى طرف ذراع
رافعة ش و ف هى القوة المنقولة بالبريمة غير المتناهية من م الى
الطارة المضرمة التى نصف فطرها بساوى م و و ر هى المقاومة المؤثرة
فى طرف ذراع رافعة و و يحدث

أولاً ف $\frac{\text{محيط مقطوعاً بالمناوية}}{\text{خطوة البريمة}} \times \text{ف ونايا ر} = \frac{\text{م}}{\text{دو}} \times \text{ف}$

فأذن يكون $\text{ر} = \frac{\text{م}}{\text{دو}} \times \frac{\text{محيط مقطوع بالمناوية}}{\text{خطوة البريمة}} \times \text{ف}$

ومن هذا التساوي تؤخذ النسبة بين القوة والمقاومة

والنوع الثاني من نوعي التأثير الواقع على البريمة وبينها من القوة والمقاومة هو ما يحدث عنه التواء البريمة وبينها ولأجل الوقوف على حقيقته نفرض عدة مفشورات متساوية كالإلياف النباتية التي يتركب من مجموعها شجرة اسطوانية ونفرض أن المطلوب التواء هذه الاسطوانة فنوقع على نهايتها قوتي **ف** و **ف** (شكل ٧) العموديين على اتجاه الإلياف والدائرتين في جهتين متقابلتين فإذا لم تكن الاسطوانة صلبة جداً وكن لا يوجد في الإلياف صلابة تامة فإنه يقع عليها تأثيرا تين القوتين فتدور إحدى قاعدتيها من اليمين إلى الشمال والآخرى بالعكس ونفرض أيضاً أن مقاومة الاسطوانة المذكورة واحدة في جميع طولها وزيادة على ذلك نفرض عدة قطاعات متنوعة حاصلتها من مستويات موازية للقاعدتين وأنها على بعد واحد من بعضها فيكون دوران القطاع الأول بالنسبة للثاني في زاوية يكون فيها دوران الثاني بالنسبة للثالث والثالث بالنسبة للرابع وهكذا وعلى ذلك فالقط التي يتكون منها في مبدأ الأمر ليف قائم على كل قاعدة يتكون منها أيضاً خط حلزوني بواسطة ما يكون للقوتين المؤثرتين في جهتين متقابلتين من التأثير الواقع على قط مختلفة من طول الشجرة الاسطوانية ويعرف هذا التعاكس بالتواء

فإذا لم تكن الإلياف متلاصقة بل ترحلت عن بعضها أو كان لا يمكنهما إلا الاحتكاك كان التواء الاسطوانة المتكونة من مجموع الإلياف كالتواء الذي يحدث في صناعة الحبال

فان قيل ما مقدار المقاومة التي تعرض للتواء من الاسطوانات المختلفة التطور التجانسة المادة فالجواب اننا نفرض حل هذه المسئلة اسطوانتين

رفيعتين جدًا متساويتين في الرفع والاولى أن يقال متحدتين في السلك الصغير جدًا ومختلفتين في القطر مع اتحادهما في الطول وتوقع عليهما في مستوى قواعدهما قوى عماسة لهما تديرهما الى جهات متضادة فيحصل بذلك التواءهما ويلزم اتحادهما القوة في زاوية واحدة من الزوايا الحادثة من التواء الالياف المتجهة على اضلاع الاسطوانتين ليحصل الالتواء في الالياف التي حجمها واحد ويكون عدد تلك الالياف مناسباً لمحيط القواعد فيلزم اذن استعمال القوى المناسبة لمحيط القواعد وانصاف اقطار الاسطوانتين ليحصل التواء هاتين الاسطوانتين المجوختين الرفيعتين جدًا بحيث لا يحدث عن اليافهما واتجاهاتهما الاصلية الا زاوية واحدة

فاذا فرضنا عمودا اسطوانيا غير مجوختين وفرضنا انه مقسوم الى اسطوانات مجوخة متحدة السلك والمركز ففرضنا أن التواءها واحد بحيث تكون كل نقطة من نقطتها الموجودة في القطاع العمودي على المحور باقية على وضعها الاصلى سهل عليك بعد حصول الالتواء أن تعرف أن الزاوية الحادثة من الالياف مع اتجاهاتها الاصلية مناسبة لبعدها عن المحور وبهذا الالتواء يحدث عن كل ليف لاجل حل التواء جهده مناسب لنصف قطر الاسطوانة المحتوية على هذا الليف وهذا الجهد ناشئ عنه بالنسبة للمحور بواسطة ذراع رافعة مساو لنصف القطر المذكور فبناء على ذلك تكون القوة التي يلزم استعمالها في التواء كل ليف مناسبة لمربع بعدها عن المحور وينتج من ذلك أن القوة الكلية التي يلزم أن يكون للاسطوانات بها درجة من الالتواء مأخوذة وحدة تكون مناسبة لمجموع مقادير ايزنبي قواعدهما بالنسبة للمحور بمعنى انها تكون مناسبة لسطح قاعدة الاسطوانة مضروبا في مربع نصف القطر فاذن اذا كانت انصاف الاقطار هي

الخ	١٠	٩	٨	٧	٦	٥	٤	٣	٢	١
كالت اعداد										
الخ	١٠٠٠٠	٦٥٦٣	٤٠٩٦	٢٤٠١	١٢٩٦	٦٢٥	٢٥٦	٨١	١٦	١

دالة على نسبة القوى التي بها يمكن بحصيل درجة واحدة من الالتواء

لاسطوانات متنوعة لها طول معلوم بين القوي التي تؤثر فيها لاجل التوائها
 وإذا فرضنا اسطوانتين مختلفتين في قصتي قطريهما المرموز اليهما برمزى
 $\overline{ر و ر}$ (شكل ٨ و ٩) وواقعاً على احدهما قوتا $\overline{ف و ف}$
 المتساويتان وعلى الاخرى قوتا $\overline{ف و ف}$ المتساويتان ايضا لاجل
 حصول الالتواء فحينئذ ان بعدى هاتين القوتين وهما $\overline{م م}$ و $\overline{م م}$
 متساويتان حين يكون

$\overline{ف} : \overline{ف} :: \overline{مسطح م م م} : \overline{مسطح م م م} \times \overline{ر} : \overline{ر}$
 تكون زاويتا الالتواء وهما $\overline{م م}$ و $\overline{م م}$ متساويتان لان $\overline{و و}$
 هما مركزا القاعدتين فاذن يحدث هذا التناسب وهو
 $\overline{م م} : \overline{م م} :: \overline{ر} : \overline{ر}$

فاذا جعلنا $\overline{م م} = \overline{م م}$ ولوينا الاسطوانة الغليظة حتى توصل ليف
 $\overline{م م}$ الى $\overline{م م}$ حدث من هذا الليف مع اتجاهه الاصلى وهو $\overline{م م}$
 الزاوية التي تحدث من ليف $\overline{م م}$ مع اتجاهه الاصلى وهو $\overline{م م}$ ولتكن
 $\overline{ف}$ هي القوة التي لا بد منها في التواء الاسطوانة الكبيرة على اتجاه $\overline{م م}$
 فيحصل هذا التناسب وهو

$\overline{ف} : \overline{ف} :: \overline{م م} : \overline{م م} :: \overline{ر} : \overline{ر}$ ويؤخذ من ذلك أن
 $\overline{ف} = \overline{ف} \times \overline{ر}$

ولكن $\overline{ف} = \overline{ف} \times \overline{مسطح م م م} : \overline{مسطح م م م} \times \overline{ر} : \overline{ر}$

فاذن يكون $\overline{ف} = \overline{ف} \times \overline{مسطح م م م} : \overline{مسطح م م م} \times \overline{ر} : \overline{ر}$

فاذا كان ميل $\overline{م م}$ يكتفى في التحلل او اتصال الياف الاسطوانة
 الصغيرة من بعضها تحصل على الاسطوانة تأثير واحد من ميل $\overline{م م}$ الحادث

من قوة **ف** فاذن تكون قوتا **ف** و **ف** الحادث عنهما انفصال
الاسطوانتين المختلفتي القطر من بعضهما مناسبتين لمسطح القاعدتين مضروبا
في نصف قطرهما وهذا الحاصل في غاية الاختصار
ومتى عرفت المقاومة التي تقبلها الشجرة الاسطوانية في بعد معين سهل عليك
دائما بواسطة النسب المتقدمة حساب المقاومة التي يقبلها ما مائلها من
الاسطوانات الاخرى في ابعاد اخرى ولا يخفى ما لمثل هذا الحاصل من الاهمية
في تعيين ما يلزم من الابعاد لعدة الآلات كاعدة المنجنون والمعطاف والسهم
الذي يستعمل في نقل قوة الآلات الادروليكية والبضارية وغيرها وليس لقوة
التواء الاخشاب حالة واحدة بل تتغير على حسب حالة الجو وطبيعة كل نوع
من الاعددة الاسطوانية ففي زمن الرطوبة تقاوم الاخشاب الالتواء مقاومة
عظيمة بخلاف وقت القيط واليبوسة فان القوى بتأثيرها تجبرها على الالتواء
ومثل هذا الامر المخالف لما يتصوره الانسان قد ثبت بتجارب عديدة علمت
في شأن التواء الاخشاب تركاها هنا خوف الاطالة

*(بيان التواء الجبال) *

لابأس أن نورد في هذا المقام ما يشهد لذلك من العمليات المهمة الحادثة
من خواص الحزونات فنقول
قد سبق لك في الدرس الثاني عشر من الجزء الاول أن كلا من الخيوط التي
يتركب منها الجبل يكون بواسطة الالتواء منتنيا انثناء حازونيا وأن محور
هذه الحزونات هو عين محور الجبل اعني الخط الذي يكون في جميع طوله
على بعد واحد من محيط الجبل المفروض مستقيما وجميع الخيوط التي على بعد
واحد من هذا المحور لها طول واحد بين القطاعين العموديين على المحور
بخلاف الخيوط المختلفة البعد من المحور فليس لها طول واحد بل يزداد بازدياد
البعد عن ذلك المحور ولاجل الوقوف على حقيقة ذلك نفرض أن **ا ب ش د**
و **ا ب ش د** و **ا ب ش د** الخ (شكل ١٠) مستطيلات
تكون فيها اطوال **ا د** و **ا د** و **ا د** بالنسبة الى ارتفاع **ا ب**

المساوي لارتفاع الخطوة المشتركة بين الخيوط الحارونية كناية عن طول محيطات
الطبقات المحتقة من الخيوط التي هي اجزاء الحبل فاذا مددنا من نقطة ب
خطوط ب د و ب د و ب د الخ المائلة كانت هذه الخطوط
كناية عن طول اجزاء الخيط الحادث منه دور كامل حلزوني على المحيطات
الموجودة في الالتصاقات وهي د و د و د الخ وهذه الخطوط
المائلة كلها غير متساوية وترتد في الطول عن بعضها بازدياد بعدها عن خط
ا ب العمودي على ا د واذا اخذت من مبدأ الامر عدة خيوط متوازية
ولويتها كلها دفعة واحدة جازيا في تلك على الطريقة القديمة مع منعها عن
الترقق على بعضها لزم انطواء الخيط المركزي وهو ا ب وامتداد خيط
الخيط الخارج وهو ب د بحيث يصير جزا الخيط المتحدان في الطول بين
قطاعي ا د و ب د كناية عن ا ب و ب د ولاجل حصول
التوازن بين الخيوط التي يتركب منها الحبل المصنوع بموجب الطريقة القديمة
وابقاء ذلك الحبل على صورته يلزم اولاً انطواء بعض اجزاء الخيوط الداخلة
وثانياً امتداد جميع الخيوط الخارجة وماجاورها وثالثاً موازنة مقاومة المدة
لمقاومة الانطواء

ولنفرض حبلاً مصنوعاً بهذه المثابة يكون مشدوداً بقوتين واقعيتين على طرفيه
فيكون تأثيرهما فيه كناية عن مده وحيث ان الالياف المركزية بمنطوية
فانستعمله من القوى حيث تعود به تلك الالياف الى حالتها الاصلية وهذه
القوى لا تعرض لها مقاومة من الخيوط فلذا كانت تتقوى بالانطواء فلا يبقى
حيثما يقاوم مد الحبل الا الالياف الخارجة وماجاورها

فعلى ذلك ليس في صناعة الحبال بموجب الطريقة القديمة ما يقاوم المدة
والا تقطاع الاجزاء واحداً من خيوط كل حبل وذلك لعدم استواء هذه الخيوط
في المقاومة فانها اذا لم تقبل من المدة الدرجة معينة فان الخيوط الموجودة
خارج الحبل تصل الى تلك الدرجة بواسطة تأثير قوى جديدة وتقطع قبل أن
تبلغ الخيوط الداخلة النهاية في المقاومة واذا انقطعت الخيوط الاولى الخارجة

انقطعت حينئذ الطبقة البعيدة عن المركز وسرى ذلك الى ما بعدها حتى يصل الى مركز الحبل

وبمعرفة المقاومات المتوالية تعرف الفائدة المترتبة على جعل الخيوط التي يتركب منها الحبل ممتدة بالسوية عند صناعة هذا الحبل وبهذه الطريقة تكون سائر الخيوط مقاومة للمدد دفعة واحدة وبوخذ من ذلك أن هذا التأثير يستدق قدر غلظ الحبل حيث أن هناك فرقا كبيرا بين مد الخيوط الخارجة والخيوط الداخلة

وهذه القاعدة هي التي جرى عليها الانكليزي في عمل الآلات الجديدة المعدة لصناعة الحبال ونحن أقول من أشهر هذه الآلات بملكة فرانس اسم سلك مهرة المهندسين الفرنسيين في صناعتها طرقا متنوعة اخترعوها فترتب على ذلك نتائج عظيمة لها أهمية في فن البحارة الفرنسيين

فن ذلك ما صنعه كل من المهندس البارون ليرو و هوبرت في ميونيخ بريست ورشوفورت من الآلات التي بواسطتها كانت الحبال المصنوعة أقوى وأمتن من الحبال القديمة فبذلك صارت أدوات السفن خفيفة وبموجب القوة في تلك الحبال واحدة يمكن تقصيص أقطارها فتتقص أبعاد البحكرات المعدة لتحريكها واستعمالها وبذلك تصبح صواري السفن خفيفة جدا هذا وما نؤمله أن مينات التجارة الفرنسية تؤثر في صناعة الحبال الطرق الجديدة المذكورة وترجحها لأنها جامعة بين فائدتى الوفرة والمتانة

*(بيان الخابور) *

الخابور منشور مثلثي يؤثر بصلعه القاطع وهو هـ ف (شكل ١١)
ليفصل بين جسمين أو جزئين من جسم واحد ويعرف هذا الصلح بمحدد الخابور
القاطع وأما واجهة أبثد المقلبة للحد المذكور فيعرف برأس الخابور
ويطلق اسم الجبهتين على واجهتي ادهف و بـ هـ ف اللتين
على عيني الحد القاطع وشماله

ويستعمل الخابور في كثير من القنون لقطع الاجسام او شقها فان السكاكين
الفرنجية والمقاريض والسيوف والبلطخوابير مستعملة دائما في زمن
السلم والحرب وكذلك الفارات والشفرات او الكوازم والمعازيق والجحاريف
والقاسات ونحوها وبالجملة فان الخابور من اهم الآلات المعدة للشغل

وليكن خابور ابث (شكل ١٢) هو الذي يدفع بواسطة قوة ح
نقطة ه المسكة بقوة واحدة كقوة غ ونقطة ف المسكة بقوة

واحدة كقوة ك والمطلوب الا نعرفة شروط التوازن في ذلك فيقال

على اى وجه كانت قوة ح متى لم تكن قوتا غ و ك عموديتين

بالتناظر على ضلعي الخابور وهما اث و بث فان تقطى ه و ف

يتحركان على طول هذين الضلعين وبذلك يحتل التوازن فان تكون اولا

قوة غ عمودية على اث وقوة ك عمودية على بث وثانيا

يلزم لاجل حصول التوازن بين قوى ح و ع و ك الثلاثة

المؤثرة في خابور ابث أن تكون مجمعة في نقطة واحدة كنقطة و

وأن نعتبر احدها محصلة للآخرين فاذا رسمنا على و غ و و ك

و و ح الممتدة شكل و ح غ المتوازي الاضلاع نحصل معنا

هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: و ح : و غ : و ح

وهنا هو شرط توازن الخابور

وحيث ان اضلاع مثلث و ح غ الثلاثة عمودية بالتناظر على اضلاع مثلث

ابث الثلاثة يحدث اذن هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: اب : اث : بث

فاذا كان ضلعا الخابور وهما اث و بث متساويين (شكل ١٣)

لزم أن تكون مقاومة غ و ك المناسبتان لهذين الضلعين متساويتين
 أيضا كما هو الواقع في أغلب العمليات وعليه فاضلاع السكاكين والبلط
 والسيوف من حيث هي متماثلة وحيث تكون نسبة القوة للمقاومة الحاصلة
 لاجل دفع كل ضلع كنسبة عرض رأس الخابور الى طول الضلع
 وكلما كانت الخواير حادة كانت اضلاعها طويلة بشرط بقاء رأس الخابور
 على حالة واحدة وكان ايضا الرأس ضيقا بشرط بقاء الاضلاع على حالة واحدة
 فلذا كان يمكن حصول التوازن بين قوة مفروضة ومقاومة كبيرة بقدر ما يكون
 الخابور حادا وكان ايضا يكفي في ابطال مقاومة مفروضة قوة صغيرة
 بقدر ما يكون الخابور حادا

واذا وقع على نقطة ه او ف قوتان بدلا عن قوة ه غ او ف ك
 لزم أن تكون محصلة هاتين القوتين عمودية على احدى واجهتي ا ب
 و ب ث المتقابلتين وحل هذه المسئلة الجديدة على غاية من السهولة
 وذلك بأن نصل بين ه و و ف (شكل ١٣) التين هما قوتنا وقوع
 مقاومتي ه غ و ف ك بمستقيم غ ه ف ك ثم نسقط ه غ
 و ف ك على هذا المستقيم بعمودي غ غ و ك ك فيكون
 ه غ و ف ك هما القوتان المبعثتان لنقطتي ه و ف عن
 بعضهما

ومتى كان ضلعا ا ب و ب ث متساويين (شكل ١٣) كانت مقاومة ه غ
 و ف ك متساويتين ايضا ويحدث من خط ه ف واتجاهي ه غ
 و ف ك زاوية واحدة فاذن تكون مقاومة ه غ و ف ك
 الجائيتان متساويتين

واذا فرضنا زيادة على كون قوة ح (شكل ١١) عمودية على الحد
 التقاطع وهو ه ف أن الخابور تدفعه قوة خ الموازية لهذا الحد

فان ذلك الخابور من حيث وقوع تأثير قوة ح عليه يغوص ومن حيث

وقوع تأثير قوة خ عليه يتحرك في جهة الحد القاطع

وبهذا نعرف القضية النظرية المتعلقة بالاجسام المتواصلة الاجزاء المتنوعة
تواصلاتاً وان لم تثبت لها هذه الخاصية بالنظر لجنسها وطبيعتها فيلزم أن تعتبر
تضاريسها الصغيرة جداً التي لا تدرك غالباً بمجرد النظر كالخواير الصغيرة البارزة
الخاصة في سطح تلك الاجسام

فاذا ضغط الخابور على جسم يقبل الضغط كثيراً او قليلاً فان هذا الجسم
يقع عليه تأثير الضغط وتزداد المقاومة كثيراً حيث بها تكثر قطعات الخابور
بالجسم المذكور

واذا زحلق الخابور الغير المصقول على الجسم صار كاذكنا كل تضريس من
تضاريس سطحه بمنزلة خابور مستقل يغوص في ذلك الجسم مع حصول
القائدة التي تحصل من القوة للمقاومة سواء كانت صورة هذه التضاريس
حادة كثيراً او قليلاً فاذن تكون القوة المستعملة في ذلك مع القادة كناية عن
قوة عمودية على اتجاه الحد القاطع تدفع الخابور وقد دلت التجربة على اهمية
هذه القادة العظيمة في كثير من اشغال القنون

ويتضح ما ذكرناه بالا لآلة المنتظمة التضاريس انتظاماً تاماً بواسطة الصناعة
وهي المشار بان فرض لوحاً معدنياً كلوح أ ب ش د (شكل ١٦)
يكون ضلعه وهو ش د مصنوعاً على وجه بحيث تكون زواياه

وهي أ و أ و أ الخ متساوية ونستعمل بالتعاقب قوتى ح و ز
المتساويتين لاجل شد المشار ودفعه على جسم م ن واما القوة الثالثة
وهي قوة ح التي هي في الغالب كناية عن ثقل المشار فان تأثيرها يكون
على اتجاه عمودي وهذا المشار كناية عن الخابور المركب الذي يستعمل في نشر
الاخشاب والمعادن وكثير من الاجسام الاخرى

واذا اريد قطع هذه الاخشاب او المعادن بنشار ثابت واقع عليه تأثير ثقل

عظيم جداً كشار **اب شد** (شكل ١٦) استحال قسيها وتعذر
 ما لم يتوصل الى ذلك يذل مجهودات خفيفة بأن يحرك الجسم تحركاً متريداً
 يضاهي تحرك المنشار

وليت صورة الزوايا البارزة المسماة بأسنان المنشار الرموز اليها بحروف
آ و آ و آ متحدة بل تتنوع في **كل** منشار بحسب طبيعة الاجسام
 وصلابتها

فاذا كان المراد نشر اجسام صلبة جداً وجب الاهتمام بجعل الاسنان صغيرة
 ومتقاربة من بعضها وجعل كل واحدة منها معدة لآن ترفع في كل حركة من
 حركات المنشار جزءاً صغيراً من الجسم الصلب واما اذا كان المطلوب نشر اجسام
 دون ذلك في الصلابة فانه يلزم جعل ابعاد الاسنان كبيرة وجعل صورتها على
 شكل مخن كما في شكل ١٧ عوضاً عما هو الغالب من جعلها على شكل مثلث
 مستو وليس للمنشار المعدة لنشر الحجر والرخام (شكل ١٥) اسنان
 اصطناعية بل هو كناية عن صفحة من فولاذ تشد وتدفع على الكتلة التي يلزم
 نشرها ويقوم مقام الاسنان رمل معد في احرفه الحادة تعمل على الخواير*
 ويستعمل في نشر حجر الصوان السنفرة بدلا عن الرمل ولا يشترط أن تكون
 صفحة المنشار شديدة الصلابة وربما كانت من الحديد الخام وعلى ذلك يمكن
 ادخال الرمل او السنفرة الى حد المنشار القاطع بوجه مستحسن

ولا يقتصر في الخواير المخرسة على جعل حدها القاطع مستقيماً بل قد يكون
 مستديراً وقد يكون على شكل مخنجات متنوعة

ومحيط المناشير المستديرة (شكل ١٨) مملوء بالاسنان فهي بذلك شبيهة
 بالمناشير المعدة لنشر الاجسام الصلبة جداً (شكل ١٦) وبالمناشير المعدة
 لنشر الاجسام التي دونها في الصلابة (شكل ١٧) ولا بد في صناعتها من
 مزيد النشاط والمهارة في سقاية المعادن المتخذة هي منها وليس هذا محلّه وفي
 العادة تصنع المناشير الصغيرة المستديرة من صفحة من الفولاذ مركبة على
 محور من الحديد

وأما المناشير المستقيمة فينشأ عنها ضرر دون غيرها من الآلات التي تتحركها
مترددة وذلك أنها في حالة رجوعها يكون زمن تلك الحركة خالياً عن الفائدة
بخلاف المناشير المستديرة المستمرة التأثير في جهة واحدة فإن زمن الحركة فيها
لا يخلو عن الفائدة

ويشترط في المناشير المستديرة أن تكون شديدة السرعة في الدفع حتى تعظم
فائدة تأثيرها وليلاحظ حينئذ أنه يكفي ضغط الجسم المراد نشره قليلاً على
النشار حتى يحصل النشر مع غاية السرعة والسهولة ثم إن محاور المناشير
المستديرة تكون موضوعة بالتوازي للسطح الأفقي من النازجة ومعشقة بها
بحيث يكون مستوى المنشار عموداً على مستويها فإذا اريد عمل منشورات
تكون جميع واجهاتها عمودية على بعضها فإن قطع الخشب المطلوب نشرها
توضع على وجه بحيث تكون إحدى واجهتيها وهي المجهزة للنشر متحركة
على مستوى النازجة والآخرى متحركة مع عماسها الدليل ثابت مواز لمستوى
الطارة على بعد لائق وبقديم قطعة الخشب المراد عملها يظهر بالبداهة أن
مستوى المنشار يرسم فيها قطاعاً موازياً للواجهة المستوية المستندة على
الدليل فإذا تم عمل هذه الواجهة طبقت على الدليل وصارت واسطة في عمل
واجهة أخرى من القطع المراد نشرها وتتوصل بهذه الطريقة إلى عمل
منشورات مربعة أو مستطيلة معلومة السمن ولا يخلو هذا العمل عن الفائدة
التامة إذا اقتضى الحال عمل عدة منشورات متحدة الجسم

ولامانع من استعمال المناشير المستديرة في الترسانات البحرية والطوبجية وسائر
ورش الصناعات مع الفائدة وقد استعملت هذه المناشير في مملكة فرنسا
وكنيت أول من نقلها إليها من مملكة الانكليز

ولابأس أن نذكر هنا على ميل الاختصار المناشير الكبيرة المستديرة المعدة
لنشر أخشاب الطبق كخشب الكايلي فنقول المنشار الكبير المستدير عبارة
عن طارة قطرها ستة امتار تقريباً متركبة من تصاليب رفيعة جداً في الجهة
العمودية على مستوى المحور وعريضة جداً في جهة هذا المحور مبتدأة منه

واحدة في تناقص عرضها شيئاً فشيئاً كلما قربت من محيط الطارة وهذا المحيط
محاط بعدة قسي من صفائح الفولاذ مضمرة يتكون من قواصلها المنشار
الذكوري ثم ان تلك الطارة تتحرك بواسطة آلة بخارية وتكون كتلة خشب الكابلي
مثلاً المطلوب نشرها مثبتة على عربة تكون سرعتها المتزايدة مناسبة لسرعة
الطارة وكلما دارت هذه الطارة غاصت في الكتلة وفصلت عنها جزءاً من سمكها
يبلغ ٢ ملليمتر تقريباً وينشئ هذا الجزء قليلاً بمجرد انفصاله بحيث يكون
على شكل محدب حدث من سطح دوران مركب من صفائح معدنية والواح
خفيفة مثبتة على نصاليب الطارة وبهذه الطريقة تنشر اجزاء الطبقات التي
عرضها ٤ لباتر ونصف تقريباً واعظم مناسير هذا النوع هو منشار المهندس
برونيل الذي صنعه في معاملته التي في باترسى قريسا من مدينة لندرة
وكثير من الآلات ما هو في الحقيقة مناسير وذلك كالمناجل والمقاصل والمبارد
وكيفية عمل المناجل والمقاصل (شكل ١٩ و ٢٠) أن يصنع محيطها
وهو **ابث** على وجه بحيث يكون له تضاريس واسنان هي كناية عن
خواير متقاربة من بعضها بالكلية ويحدث من حذوها القاطع مع المحيط
زاوية واحدة في سائر جهاتها فكل قبضة من الزرع المحصود او الحشيش
اليابس قابلية الاكّة تقطع من سمكها بواسطة الاسنان المذكورة فاذا كان
التحرك سريعاً جداً اخذت المقاومة في التناقص بحيث تقطع العيدان النباتية
وهي **ب** بدون تكسر والاوجب أن يندل في قطعها قوة عظيمة بتحرك
الالة عمودياً على محورها ولا يجتري ما في هذه الحالة من المشابهة البينة بين تأثير
المخل والمقص والمشار المستدير

وقد صنعوا من هذا القبيل سيوفاً حذوها القاطع ذو اسنان وتضاريس وهي
اسلحة قذيفة عظيمة التأثير لا تلائم الا اهل التبربر والخشونة
وما يسمى عند اهل المشرق بالسارية له تأثير كثر في المنشار المستدير فترى
الرجل من اهل آسيا بدلاً عن كونه يطعن بها عمودياً على حذوها القاطع يقبض
عليها ويجعلها على اتجاهاه حتى تصل الى الشيء المراد قطعه وتجرحه فعند ذلك

تغوص في الجرح اسنان الحد القاطع على التوالي فيكون تأثير تلك الاسنان
الفائصة كمتأثير اسنان المشار فلذا كانت جروح الشاكرات بهذه الطريقة
أعمق وأعرض مما اذا كانت حاصلة من الطعن بالحد القاطع طعنا عموديا على
السطح المراد قطعه

واما المبارد والمحكات (شكل ٢١ و ٢٢) فهي كناية عن سطوح
مضرسة لها اسنان كالخوابير الصغيرة المتساوية التي تكون عادة مستوية الوضع
اي مصنوعة على ميل يحدث منه مع محور المبرد او المحك زاوية تبلغ ٤٥
درجة فاذا تقدم المبرد او تأخر على سطح الجسم المراد صقله حدث على ذلك
السطح من الخوابير حوزة متساوية يعقبها ملوسة السطح وصقلته في رأى العين
وذلك لشدة تواصلها وتلاصقها ثم ان الاولى في استعمال المبرد ما كان له اسنان
كثيرة وصغيرة جدًا اذ به يتقص بالتدريج عرض وعمق الحزوز التي تحدث على
سطح الجسم المطلوب صقله حتى تكثر ويقل عمقها بحيث لا يمكن ادراك تجويفه
بحاسة البصر فعند ذلك يظهر للناظر أن السطح المبرد على غاية من الصقالة
وعما ينبغي التنبيه عليه أن المبرد لا يتحصل تأثيره في جهة واحدة بل ينتقل
بالتدريج على سطح الجسم المراد صقله في اتجاهات مختلفة وبذلك تتقاطع
الحزوز وتزول خشونتها

واما اذا كانت اسنان المبرد والمحكات ليست على بعد واحد من بعضها فلا
يمكن أن تصقل سائر اجزاء سطح الجسم المقروض صقلا مستويا فلا بد
في جودة الصقل من أن تكون المبرد والمحكات محكمة الصناعة ومنظمة
انتظاما هندسيا

وعما ينتظم في سلك المبرد والمحكات الكردات وهي عبارة عن خوابير متفرقة
عن بعض او طويلة جدًا ومتوازية ولها شبهة باسنان المبرد التي على وضع
مستو ولكن ليس الغرض منها الصقل وازالة ما في سطح الجسم من الخشونة
وانما تستعمل لتنظيم الخيوط في اتجاهات معينة وتدخل في النسيج غير المنتظم
الحادث من هذه الخيوط فتقسمه الى خيوط رفيعة جدًا ثم تنظم تلك الخيوط

بواسطة تأثير ضغط خفيف

والشئنة المعدة لتسريح الصوف المسجاة عند العامة بالشيخة تأثير كتأثير الخواير
ومن هذا القبيل ايضا الحديد التي تطمر بها الخيل وهي مركبة من عدة صفائح
مستنة متجهة بالتوازي لبعضها ومتحركة بقوة مشتركة وكذلك المشط المعد
لترجيل الشعور وتسريحها واما محركات السكر (شكل ٢٣) والقرش
والمشاشات فتأثيرها كتأثير المنشار وذلك كالخرق المعدة لحك الامتعة وتكميل

مقل السطوح

وكذلك المسقة والمخرقة فتأثيرها مشابه لما ذكر في تنظيم سطح الارض * وهذا
ولم نستوف جميع آلات هذا النوع

ويستعمل في مقل محصولات الصناعة اجسام متركبة بالطبع من اجزاء
صغيرة هي في الحقيقة خواير حادة وصلبة جدا فن ذلك حجر الخرفش وحجر
السن فانهما معدتان لمقل السطوح ويزيد الثاني اى حجر السن باختصاصه
بسن الآلات القاطعة وما يوجد بسطحه المتباور من الخواير العديدة يستعمل
في اصطناع السطوح الكبيرة المتواصلة من الآلات القاطعة وهناك اجار
سطحها الاصطناعي مستوي واخرى سطحها الاصطناعي مستدير

ولست اجار الطواحين مقصورة على دق الحبوب وتفتيتها بل تطلقها وتطحنها
بتأثيرها الشبيه بتأثير الخابور ويعين على ذلك الافاير المصنوعة في السطح
المستوي من هذه الاجار

ولما نهينا الكلام على الخواير المنشورية اى التي على شكل المنشور فاسب
أن تسلم على الخواير المحروطية او الهرمية كالمقاش والمسامير وبعض
الاسلطة والآلات المستعملة في القنون الحربية والملكية فتقول اذا اريد
ادخال منقاش او مسمار محروطى او هرمى (شكل ٢٤ و ٢٥)
في جسم يقاوم ذلك فان كانت المقاومة مناسبة لادخاج الحاصل بين اجزاء هذا
الجسم ولكمية النقط التي يلزم بعدها عن بعضها امكن أن نبرهن على أن الجهد
اللازم لادخال المسامير او المنقاش يكون مناسباً المقدار ينسب الجزء القروض

غوصه من ذلك المنقاش او المسمار لان هذا المقدار أخوذ بالنسبة لمحور المسمار
او المنقاش المعتبر كهرم او خابور

ومن الخواير الهرمية او المخروطية ايضا كثير من الآلات المستعملة
في الصناعة كالسفود والخجر والسجة والابرة والدبوس والآلات الحفر والنقش
وما اشبه ذلك ويشاهد في الحيوانات ما هو على صورة خواير متنوعة الشكل
لأجل الاقتراس والذب بها وذلك كالأسنان والقرون والانفاخر والمخالب
ونحوها ومثل ذلك كثير جدا لا يمكن حصره

وقد ابتدع ارباب الصنایع تركيبا بديعا لاتحاد انواع البرعة والخابور حيث
ان كلامهم ما على انفراد يحصل به التوازن بين المقاومة الكبيرة والقوة
الصغيرة وباجتماعهما يحصل التوازن بين قوة اصغر من المتقدمة بالنسبة
للمقاومة

ومن هذه الآلات المركبة ما الغرض منه الدخول في الاجسام كالمنقباب
والمسمار ومنها ما هو معد لتقطع الاجسام فاذا فرضت خابورا مخروطيا ممتدا
جدا وتيت هذا الخابور على صورة الخلزون حدث من ذلك الآلة المعروفة
بالبرمة او كاشة المدفع التي الغرض الاصلي منها الدخول في السداية او في ممسحة
الاسلحة النارية

ولأجل تحصيل النسبة بين القوة والمقاومة في مثل هذه الآلة يلزم أن نلاحظ
انه اذا كانت هذه الآلة برمة كانت النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة
كنسبة المحيط المقطوع بهذه القوة الى خطوة البرمة ثم ان كان طرف البرمة
او كاشة المدفع متقابا كانت النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة كنسبة طول
هذا الخابور القروض الى سطح قاعدته مضروبا في مربع نصف قطر هذه
القاعدة فيكون حاصل هاتين النسبتين هو عين حاصل النسبة الواقعة بين القوة
والمقاومة غير أنه يلزم التنبيه على أن الاحتكاك بعدم جزأ عظيم من القوة
وهي مع ذلك أكبر من المقاومة

والنوع الثاني من اتحاد البرعة والخابور وهو اجتماعهما معا له اهمية عظيمة

وهو كثر استعمالا من الاول ويدخل فيه المناقب الكبيرة والمخاريز ونحوهما
 (شكل ٢٦ و ٢٧) فاذا فرضنا خابورا مثبتا على طول ضلع الاسطوانة
 وفرضنا أن هذه الاسطوانة تتحرك تحت كاسيتيرافني كل وقت يمكن أن نعتبر
 أن هذا الخابور مدفوع بقوة واقعة على حده القاطع ويعظم تأثير هذه القوة
 كلما كان الخابور في زاوية حادة جدا بالنسبة للجسم المطلوب حركته
 واذا فرضنا الآن ضلعاً منتبهاً أثناء حركته لا عن الضلع المستقيم فإن الحد
 القاطع من الخابور عوضا عن كونه يقطع الجسم قطعا عموديا على اتجاه التحرك
 الحاصل له يقطعه قطعا مائلا ويكون تأثيره كتأثير الخابور المستقيم الذي
 يوجه اتجاهها مائلا كالشواكروفي هذه الصورة تعظم القوة بالنسبة للمقاومة
 حتى ينشأ عن حركون الحد القاطع مع ضلع الاسطوانة المنتن على هذا الخابور
 زاوية كبيرة فاذا اريد عمل مناقيب كبيرة تامة الصلابة لزم الاهتمام بجعل
 حده القاطع حاداً جدا وناعنا مع ضلع الاسطوانة المفعولة محورا لهذه
 الآلة زاوية كبيرة

وتجدي المناقب والمخاريز فراغا عظيما في خلال كل خطوة من خطوات
 البريمة الحادثة عن خيوطها الحادة ومقنعت تلك الآلة بالجسم المطلوب ثقبه
 انفصلت عنه اجزاء تكون صورتها على شكل الخارزون وتتصرف في الفراغ
 الموجود بين ادوار تلك الخيوط ومع ذلك فلا بد من التنبيه على أن تلك الاجزاء
 لا تشغل الاجزاء من الاسطوانة الكلية التي يثقبها المثقاب او المنراز وعلى انها
 تكون ممتدة او منكسرة بمجرد اتصاليها وهذا الانكماش يضر بتأثير الآلة
 ولكن لاجل منع ازدياده من زمن الى آخر فنحذف المخراز والمثقاب كي تخرج
 الاجزاء المنفصلة ثم نأخذ في الثقب ثانيا ويكون العمل بعد ذلك سهلا

وقد عمل المهندس استيفان بريس في الآلة المعروفة بالمقرض لكونها تزيد
 وبر الجوخ عملية يدعية تتعلق بالبريمة والخابور واول من جلب هذه الآلة
 الى مملكة فرانس هما المهندسان المسمى كل منهما بوبارد وقد حسنها
 المهندس يوهن كولير تحسينا يينا ولاجل تصورها نعرض آلة قاطعة

كالوسعي معوجة على صورة الحزون ممتدة وملتفة على محيط اسطوانة مجوفة ونضع بمحاسة الاسطوانة التي يقطعها الحد القاطع من الصفائح الحزونية صفيحة ثابتة مستقيمة وموازية لمحور هذه الاسطوانة وتحت هذه الصفيحة بالقرب منها جذا بحيث يكون القماش المراد ازالته وبر محل يوجد مسند مواز ايضا للصفيحة الثابتة ومحور الاسطوانة فتجد احد طرفي الجوخ عند مده جدا مشدودا وملتفا على قرص بكرة بخلاف الطرف الاخر فانه يكون منحلا من فوق اسطوانة اخرى مخصوصة وبمجرد مرور الجوخ بين المسند والصفيحة الثابتة يلاقي صفيحة حزونية تتقدم بحسب ميلها على طول تلك الصفيحة وتزبل جميع ما يكون بارزا على القماش من الوبر فتجاوز الآلة الحزونية عرض الجوخ شرعت في ازالة الوبر آلة اخرى حزونية ابداً حركة من الصفائح الحزونية

(الدرس الثالث عشر)

(في بيان ما يقع في الآلات من الاحتكاك)

اذا كانت الاجسام مصقولة صقلا تاما امكن أن تترحل على بعضها بدون أن يعرض لها ادنى مقاومة من تماسها ببعضها فاذن يجري هنا جميع القسب البسيطة السهلة التي تكون بين القوى والمقاومات بدون حدوث تغيير في سائر الآلات التي ذكرناها على اختلاف انواعها ولكن لا يمكن أن يكون سطح الاجسام بهذه المثابة من بلوغ الغاية في الصقل فلما وقع حيثئذ من تحرك الاجسام على بعضها بدون أن يحصل من خشونة مسطحاتها ادنى مقاومة تبطل هذا التحرك ومثل هذه المقاومة يعرف بالاحتكاك

فاذا اريد حيث نعرف المقدار الحقيقي لتأثير القوى الواقعة على الآلات لزم معرفة قيمة مقدار الاحتكاكات وضم هذه المقاومة الجديدة الى المقاومات المعلوم مقدارها الحقيقي من النظريات

ومن الطبيعيين والمهندسين من بحث بالتعاقب عن قوانين الاحتكاك سالكا

في ذلك مسلك النظريات والعمليات مثل اموتونس وموشبورويك
وكاموس وبوسون فهم الذين بحثوا عن هذه المسئلة بالتعاقب الا انهم
لم يوفوا بما احتجوا على ما ينبغي فاعتنى بتكميلها الشهير كلب بتجارب بدعية
وتوضيحات عظيمة تدل على فطنته وجودة قريحته

فينبغي الزام كل من تصدى لتكميل فنون الصناعة بالنسج على منوال
كلب في النظريات المتعلقة بالالات البسيطة مع الالتفات الى احتكاك
الاجزاء الصلبة وانكماش الحبل ليظهر لهم بواسطة التجارب التي يشرعون
فيها انه يمكن وضع قواعد تسهل بها الحسابات التي لا يمكن معرفتها بمجرد
النظريات بل لا بد في ذلك من ضخمة تلك التجارب اليها

فلتفرض قبل الشروع في معرفة تأثير سطحين يتزحلقان على بعضهما جسما
موضوعا على مستوئائل ميلا كافيا فيلزم بمقتضى الدعوى النظرية المقررة
في شأن المستوى المائل أن الجسم يسقط بتأثير التناقل مع سرعة مجبلة تكون
نسبتها للسرعة المجبلة لهذا الجسم الساقط بدون معارضة على مستقيم رأسي
كنسبة ارتفاع المستوى المائل الى طوله ومع ذلك فقد يكون الجسم ساكنا
فمن ذلك الورق والريش والدواق التي توضع غالبا على لوح التخته المائل بدون أن
تنزلق على طول هذا المستوى فتكون بالبداهة مقاومة الاحتكاك اكبر من
قوة التناقل فاذا املنا بواسطة الاحتكاك هذا المستوى المستقرة عليه تلاء
الاجسام شيئا فشيئا فافضل الى الوضع الذي يكون مبدأ التحرك هذه الاجسام
وهو وضع يكون فيه تناقل الجسم من مبدأ الامر اكبر من مقاومة الاحتكاك
فعلى ذلك لا مانع من سألوه هذه الطريقة في معرفة درجة الاحتكاك الحادث
بين اجسام متنوعة عند تحركها على بعضها ويستنبط من ذلك عدة فوائد
مهمة

مثلا اذا كانت الاجسام موضوعة على المستوى المائل متدمة فانها لا تأخذ
في التحرك عليه الا اذا املنا اكثر مما اذا وضعت على مستويمه معلوم وحصلت
املته بان الر وضع فعلى ذلك اذا استقرت الاجسام مدة من الزمن على مستوي

مادى فانها تكتسب بذلك نوع التصاق به تزداد الموانع التي يلزم الظهور عليها والتفري بها

ولنؤثر على هذه الطريقة الطريقة التي جرى عليها كلب مع بيان آتته فنقول

ان تلك الالة عبارة عن تازجة صلبة (شكل ١) مثبت عليها لوحان كلوحى م م و م م غليظتان ومتوازيتان ومتلاصقتان وكل من اطرافيهما يزيد في الطول على التازجة وبين النهايتين البارزتين من احد طرفي اللوح قرص بكرة محوره على اللوحين المذكورين كقرص ر وعلى النهايتين البارزتين من الطرف الاخر منجنون افقى كمنجنون ط ط

وعلى هذين اللوحين الغليظين تخشبية من الالواح كخشبية ح ح جيدة الصقل يزيدان عنها في الطول نحو متر ونصف وهى التي تترحلق عليها الاجسام التي يراد عند تحركها معرفة مقاومتها الناشئة عن الاحتكاك وهذه الاجسام مسطحات من الخشب (شكل ٣) على اطرافها حالتا ث و ث المعدة احدهما لاسمال طرف الحبل الذي يلتف على عمود المنجنون (شكل ١) وهذا الطرف هو محل تأثير القوة والثانية لاسمال طرف الحبل الذي يمر بحلق قرص البكرة ويوجد على هذا الحبل تارة كفة ميزان ككفة ب (شكل ١) يوضع فيها اتقال بقدر ما يراد لاجل تبويب القوة وتارة رافعة كرافعة ل (شكل ٢) تؤثر في هذا الحبل بواسطة ثقل كذراع القبان

ثم ان اول عملية اجراها كلب بموجب هذه الطريقة هو انه وضع على لوح الاختبار رقالة (شكل ٣ او ٤ او ٥ او ٦) تترحلق على هذا اللوح ثم تستقر لحظة من الزمن

وكان كل من النقالة (شكل ٣) واللوح المذكورين من خشب البلوط وهذا النوع من الخشب اذا استقرت عليه النقالة مدة ثمانية او ثايتين او ثلاث

نوان الى عشر ثوان فلا بد في تحريكها من قوة كبيرة غير أن القوة التي تستعمل عقب دقيقة في بدء تحريك النقلة وهي قوة الضغط تكون مع قوة مقاومة الاحتكاك في نسبة لا تتغير الا من ٢٢١ : ١٠٠ الى ٢٤٦ : ١٠٠ وان كانت الانضغاطات تختلف من ٢٧ كيلوغراما الى ١٢٣٠ كيلوغراما

ولاجل معرفة التأثير الناشئ عن سطح الاحتكاك الممتد كثيرا او قليلا يسمر باسفل النقلة منشوران من البلوط كمنشوري ط و ط (شكل ٤) وحيث ان جزء هذين المنشورين المماس للوح الاختبار مستدير على شكل اسطوانة لم يبق لسطح الاحتكاك من العرض الامتداد يسير فيكون حينئذ اتجاه المنشورين المذكورين موازيا لاتجاه تحريك النقلة ولا فرق هنا بين مقاومات الاحتكاك متى تحركت النقلة بمجرد وضعها على لوح الاختبار او بعد وضعها عليه بمدة يسيرة

وفي الانضغاطات التي تختلف من ٤٠٠ الى ١٣٠٠ كيلوغرام في كل متر مربع لا تختلف نسبة الضغط الى القوة اللازمة للتغلب بالاحتكاك الا من ١٠٠ : ٢٣٦ الى ١٠٠ : ٢٤٠ ومثل هذه النسبة يمكن اعتبارها ثابتة تقريرا او حينئذ يلاحظ انها مساوية تقريبا للنهاية الكبرى من نسبة الانضغاطات الى الاحتكاك كانت متى احتكت النقلة بجميع مسطح قاعدتها على لوح الاختبار فاذا اخذنا المقادير المتوسطة في الصورتين بواسطة التجارب وجدنا الفرق بينهما لا يبلغ واحدا من ثلاثة وعشرين

فاذا كان الضغط صغيرا كان الاختلال كبيرا واذا كانت الاجال كبيرة لم يظهر الخلل وتكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك ثابتة تقريرا مهما بلغ امتداد السطح الواقع عليه الاحتكاك

ثم انهم بعد أن اختبروا احتكاك البلوط على البلوط اختبروا ايضا احتكاك الراتنج على البلوط استبدلوا المنشورين المتخذين من خشب البلوط الموضوعين اسفل النقلة بمنشورين من خشب الراتنج

وأذا تحركت النقالة بعد وضعها على لوح الاختبار بجملة يسيرة فإن مقاومة الاحتكاك تصغر ما أمكن لكنها بعد عشر ثوان تكبر بمقدار ما تبلغه بعد مضي ساعة .

فإذا بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الأصلية بواسطة تأثير حمل عظيم كانت نسبة الضغط الى هذه المقاومة هي نسبة ١٥٠ : ١٠٠

وأذا ثبتنا على لوح الاختبار قاعدتين من الراتنج تتحرك عليهما النقالة التي استعملناها في التجارب المتقدمة فانه عند احتكاك الراتنج على الراتنج بهذه المثابة تكون دائما دى مقاومة للاحتكاك حاصلة متى تحركت النقالة بأثر وضعها على لوح الاختبار الا انه اذا مضى على تلك المقاومة عشر ثوان كبرت بمقدار ما لومضى عليها ساعة وفي هذه الصورة تتغير نسبة الانضغاطات الى المقاومات من ١٨٥ : ١٠٠ اذا كان الضغط صغيرا الى ١٧٧ : ١٠٠ اذا كان كبيرا

ويحصل اختبار احتكاك خشب الدرदार على الدرदार بالكيفية المتقدمة وهي أن يسمر منشوران باسفل النقالة وقد ذكر كلب أن خشب الدرदार الذى يجرد منه الانسان عند اللمس لطافة ونعومة كالقطيفة هو فى التصاقه ببعضه اشتد بظنا من سائر الاخشاب المتقدمة ويظهر به ازدياد الاحتكاك بعد مضي عدة ثوان ولا يبلغ نهايته الكبرى اذا كان الضغط يساوى ٢٢ كيلو غراما الا بعد استقرار الخشب اكثر من دقيقة وعلى ما ذهب اليه هذا العالم الطبيعى من أن الضغط يتغير من ٢٢ كيلو غراما الى ٨٣٠ كيلو غراما تكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك من ٢١٤ : ١٠٠ ومن ٢١٨ : ١٠٠ وهاتان النسبتان لكون ما بينهما من الفرق قابلا جدا يصح اعتبارهما متساويتين فى سائر نتائج العمليات المحضة ولتذكر لك هنا ما بين ثقل النقالة وحملها ومقاومة الاحتكاك الناشئة عن هذا الثقل من النسب المتوسطة المستنبطة من التجارب السابقة فنقول انه يحدث

٢٣٤ : ١٠٠	عند احتكاك البلوط على البلوط
١٥٠ : ١٠٠	وعند احتكاك البلوط على الراتنج
١٧٨ : ١٠٠	وعند احتكاك الراتنج على الراتنج
٢١٨ : ١٠٠	وعند احتكاك الدرदार على الدرदार

وفي سائر التجارب التي اسلفنا الكلام على نتائجها يكون تفرق الاخشاب على بعضها في اتجاه عروق الخشب قد وجهت في تلك التجارب المتوالية عروق منشوري ط ط المجرين باسفل التقالين اتجاهها عموديا على عروق خشب لوح الاختبار (شكل ٥) وعلم مما سبق انه لا بد من استقرار الخشب مدة من الزمن حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى وان نسبة الضغط بلغت من ٢٥ كيلو غراما الى ٨٢٥ والنسبة بين هذا الضغط ومقاومة الاحتكاك هي دائما ثابتة تقريبا فانها عند احتكاك البلوط على البلوط مع قطع النظر عن عروق الاخشاب الخمسة تكون

٣٨٥ : ١٠٠	في الانضغاطات الصغيرة
٣٦٧ : ١٠٠	في الانضغاطات الكبيرة

وعند عدم المانع تعظم الفائدة في احتكاك الاخشاب على بعضها اذا كانت عروق القطع الخمسة متجهة على بعضها اتجاهها عموديا عوضا عن كونها تفرق على عروق قطعتين متماسكتين

ثم ان احتكاك المعادن على الاخشاب (شكل ٦) لا بد فيه من مكث الجسمين متماسكين زمنا طويلا حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى واقل ما يلزم لذلك اربع ساعات او خمس بخلاف احتكاك الاخشاب على بعضها فان الدقيقة الواحدة تكفي في كون المقاومة تأخذ في الازدياد من زمن الى آخر فلا بد في الصورة الاولى من طول المدة حتى تمنع هذه المقاومة عن الازدياد بالسلكية

فاذا استقر الجسمان على بعضهما اربعة ايام تغيرت نسبة الانضغاطات الى مقاومة الاحتكاك من ٥٣٠ : ١٠٠ الى ٤٨٦ : ١٠٠

إذا كان تغير الانضغاطات من ٢٦ كيلوغراما الى ٨٢٥ كيلوغراما ويحدث من النحاس مثل هذه النتائج في الزمن الذي تبلغ باثره مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى وفي نسبة الضغط الى هذه المقاومة وهي ١٠٠ : ٥٠٠

وبعد تزحلق المعادن على الخشب يسرع على لوائح الاختبار (شكل ٧) قاعدتان من الحديد في غاية من الاحكام والصقل تزحلق عليهما قاعدتان اخريان من الحديد ايضا مثبتتان اسفل النقالة وفي هذه الصورة تظهر من اول وهلة اعظم مقاومة للاحتكاك فتكون النسبة على هذا المتوال قدر الضغط ضغط مقاومة الاحتكاك

احتكاك الحديد على الحديد } ٢٥ كيلوغراما :: ٣٤٠ : ١٠٠
٢٢٥ كيلوغراما :: ٣٦٣ : ١٠٠

فيمكن أن نعتبر مقاومات الاحتكاك هنا مناسبة للانضغاطات تقريبا وكذلك الحديد اذا احتك على النحاس الاصفر فان نسبة الانضغاطات فيه الى مقاومة الاحتكاك تكون بهذه الصورة

قدر الضغط

احتكاك حديد على نحاس اصفر } ٢٥ كيلوغراما :: ٣٦٠ : ١٠٠
٢٢٥ كيلوغراما :: ٤٠٠ : ١٠٠

فاذا احتك الحديد على النحاس الاصفر وكانت ابعاد سطوح التماس صغيرة ما يمكن بأن جعل مثلاً على قاعدتي النقالة المتخذتين من الحديد اربع مسامير من النحاس رؤسها مستديرة ومثبتة باسفل النقالة حدثت هذه النسبة وهي الضغط مقاومة الاحتكاك

اذا كان قدر الضغط ٤٣ كيلوغراما كانت النسبة ٥٩٠ : ١٠٠
وإذا كان ٤٢٥ كيلوغراما كانت النسبة ٦٠٠ : ١٠٠

وهذه التجربة مترتبة على تنبيه مهم وهو انه بمجرد ما تنحرف على قاعدتي الحديد النقالة المحاطة بمسامير من نحاس تكون النسبة ٥٠٠ : ١٠٠ ولكن

بعد حصول التحرك عدة مرّات يصقل الحديد والنحاس صقلا تاما بواسطة احتكاكهما على بعضهما فتصير هذه النسبة ٦٠٠ : ١٠٠ وبذلك تنقص مقاومة الاحتكاك وحيثنذا فالاجار والرمل وسائر الآلات التي تستعمل في الصقل لاتزيل خشونة سطوح الاجسام بالكلية وانما يزيلها الاستعمال بواسطة الانضغاطات العظيمة التي تحصل عند سرعة تحرك الآلات

وفي كثير من الفنون اذا اريد تثقيب مقاومة احتكاك سطحين يتزحلقان على بعضهما يوضع بينهما اجسام دسجة كالزيت والدهن وشحم الخنزير القديم وما اشبه ذلك وهذا هو ما يغلب استعماله في ذلك الغرض ولا بد من معرفة الدرجة التي تبلغها الادهان في تثقيب المقاومات وقد استعمل كلب في مبداء الامر الشحم النقي

ولا تبلغ المقاومة بهذا الدهن نهايتها الكبرى الا بعد مضي مدة طويلة جدا فاذا مضت خمسة ايام اوسنة كبرت هذه المقاومة عما كانت عليه أولا بنحو ١٤ مرّة اذا كان سطح النحاس كبيرا بالنسبة للضغط واما اذا كان صغيرا فان نسبة الانضغاطات الى المقاومات تبلغ نهايتها الكبرى سريرا

وقد وضح الدهن في التجارب المتقدمة مديسيرة ووضع ايضا فيا بعد هاجم التجارب بمدة ثمانية ايام فكان على غاية امن الصقل الا ان دسامته قلت عما كانت عليه أولا وكانت ايضا مدة استقراره لها تأثير عظيم في مقاومة الاحتكاك ولو حظ انه اذا استقر بقدر هذه المدة حدث عنه مقاومة ادنى من مقاومة الدهن الموضوع منذ مدة يسيرة

ثم ان كلب اوقع الاحتكاك بين قاعدتين من النحاس مثبتتين باسفل الثقالة واخرين من الحديد مثبتتين بلوح الاختبار ومدهونتين بشحم جديد يبلغ سمكه ٥ ملليمتر تقريبا فازدادت مقاومة الاحتكاك في مبداء الاستقرار ثم بلغت نهايتها الكبرى بعد مضي مدة يسيرة

واذا قطعنا النظر عن التصاق السطحين النحاسين الذي هو كاية عن كمية ثابتة

حدث عن تحريك النقالة بدون واسطة أن مقاومة الاحتكاك تكون مناسبة للانضغاطات في نسبة ١٠٠ : ١١١٠ ولما كان تأثير الالتصاق كما ذكرنا مهملا بالنسبة للاجمال العظمية كان للدهن فائدة عظيمة أذ بدونه يحدث من ضغط قدره ٦٠٠ كيلو غرام ١٠٠ كيلو غرام من مقاومة الاحتكاك بخلاف ما إذا كان الدهن بالشحم فلا تحصل المائة المذكورة الا بضغط قدره ١١١٠ كيلو غرام وبالجملة فحق كانت السطوح مدهونة بالشحم لم تتغير نسبة الانضغاطات الى مقاومات الاحتكاك اصلا مهما كان امتداد السطوح المتماسية وهذا اذا كان مقدارهما غير مناسب للضغط بالكلية وايضا قد يكون هذا الضغط صغيرا بقدر ما يراد من غير أن تتغير النسبة فاذا لم تتحرك النقالة الا حين بلوغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى كانت النسبة عند استخراج تأثير الالتصاق هكذا

٩١٠ : ١٠٠ في الانضغاطات الصغيرة

٩٩٠ : ١٠٠ في الانضغاطات الكبيرة

واذا حصل الدهن بزييت الزيتون عوضا عن الشحم بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى من مبدء الامر تقريبا وكانت مساوية $\frac{1}{4}$ الضغط وربما تغيرت من $\frac{1}{4}$ الى $\frac{1}{7}$ اذا استعمل في الدهن شحم الخنزير القديم فعلى ذلك يكون الشحم الجديد اعظم نفعاً في صورة ما اذا كان الاحتكاك بين النحاس والحديد

ولا يكفي في الظفر بالمقاومة الحاصلة لتحرك جسم حين استقراره على سطح مجرد معرفة القوة اللازمة لذلك بل لا بد ايضا من معرفة الكيفية التي تتغير بها المقاومة على حسب ما يكون للجسم من السرعة الكبيرة ثم ان الآلة التي سبق ذكرها هي المستعملة في ذلك دائما غير أن رمانة القبان (شكل ٢) التي الغرض منها أن يكون للجسم في التحرك أقصى درجة تستبدل بالحبل والكفة (شكل ١) الحاملة اقلالاً بواسطتها يكون للجسم سرعة معجلة فيحصل الاحتكاك مع الحفاف بدون دهن وتتحرك النقالة على لوح الاختبار بما تحمله تدريجاً من

الاتقال التي يحدث منها هذه النقلة سرعة تكبر شيئا فشيئا
 وإذا كانت النقلة موضوعة على لوح الاختبار وحاملة لثقل يطلب معرفة
 تأثيره فالتأثير على الكفة بالتوالي اتصالا متنوعا ثم تحرك النقلة تارة يدق
 المطرقة دقات خفيفة وتارة بدفع النقلة من خلفها بواسطة رافعة ويوجد
 في احداث اطراف لوح الاختبار الطولية تقاسيم مضبوطة بحيث تدل نهاية
 النقلة عند قطع هذه التقاسيم على المسافات المقطوعة وبالجملة فتقدر
 مدة التحركات بكيفية ترجح على غيرها في التجارب القليلة الضبط المراد
 علمها وهي كيفية الپندول الذي تمكث كل رجعة من رجعاته نصف ثانية
 ويلزم ملاحظة القوة التي لا بد منها في مبدء تحرك النقلة ثم تستعمل في اثناء ذلك
 قوة متوسطة وفي الآخرة تستعمل قوة كبيرة ويلزم ايضا ملاحظة الزمن الذي
 لا بد منه في قطع النقلة مسافتين قدرهما ٦٦ سنتيمتر

والزمن الذي تستغرقه النقلة في قطع المسافة الاولى هو على العموم ضعف
 الزمن الذي تستغرقه في قطع المسافة الثانية تقريرا غير ان الجسم المتحرك بقوة
 مجله ثابتة الذي يقطع مسافتين متساويتين على التعاقب يستغرق في تحركه ازمنة
 تكون نسبتها الى بعضها :: ٧ : ١٠٠٠٠٠ : ٢٠٠٠٠٠٠ فتستغرق
 النقلة حينئذ ١٠٠ وحدة من الزمن في قطع الجزء الاول من المسافة
 و ١٤٢ وحدة ايضا من الزمن المعد لقطع الجزء الاول مع الثاني فلا يزيد
 زمنه على الاول الا ٤٢ وحدة

فعلى ذلك يكون تحرك النقلة الناشئ عن القوة المجله الثابتة وهي قوة تناقل
 الانقال منتظم المجله وذلك يستلزم أن مقاومات الاحتكاك لا اعدم في كل وقت
 الا كمية مناسبة من القوة التي يزيدها التناقل فاذن تكون مقاومة الاحتكاك
 كمية ثابتة مهما كانت سرعة الاجسام المتحاسة

ومع ذلك اذا كانت السطوح المتحاسة كبيرة فان الاحتكاك يزداد بازدياد
 السرعة وبالعكس بمعنى انه اذا كانت السطوح المتحاسة صغيرة فان الاحتكاك
 ينقص قليلا باقتصاص السرعة ايضا غير أن ما بين هاتين الصورتين من

الاختلاف لا يغير شيئا في جودة النتيجة التي ذكرناها في اغلب العمليات
وقد عين كلب بحسابات وان كانت مختصرة على قدر الكفاية الا انه يطول
بيانها هنا ما بين الانضغاطات والاحتكاكات الحادثة عنها من النسب
في التجارب الستة الآتية التي تتنوع فيها السرعة بحيث تفوق ما يحصل
في العمليات من الانضغاطات العظيمة وهالك بيان ذلك
احتكاك واقع على سطح يبلغ امتداده ١٠٥٥ ستغراما يعا بمثل بهذه
المتابعة الآتية

نسبة	ضغط	تجربة
٥,٧	٢٥ كيلوغراما	تجربة أولى
٩,٤	١٨٨	تجربة ثانية
٩,٥	٢٩١	تجربة ثالثة
٩,٤	٨٢٥	تجربة رابعة
٩,٢	١٧٨٨	تجربة خامسة
١٠,٤	٦٥٨٨	تجربة سادسة

وفي هذه التجارب يكون اتجاه عروق خشب بلوط النقالة هو عين اتجاه عروق
خشب لوح الاختبار ثم توجه عروق خشب النقالة اتجاهها عموديا على عروق
خشب لوح الاختبار ومن وقتئذ لا يحصل في نسبة الانضغاط الى الاحتكاك
الا تغير قليل جدا سواء كانت السطوح المتماسكة منعقة او كانت قضبان ضيقة
كدود السكاكين الغليظة وقد اورد كلب في ايضاح هذا التغير عبارة بدیعة
لا بأس بإيرادها هنا فنقول

إذا كانت القواعد المصنوعة على صورة خابور والمثبتة بأسفل النقالة تترطق
على عروق الخشب فان نقط لوح الاختبار تصل الى اطراف القواعد فتبقى هناك
مضغوطة حتى تقطع النقالة مسافة بقدر طولها وحيث ان طول النقالة ٤
دسجترات فاذا كان النحر ٤ دسجترات في كل ثانية فان كل قطعة من
نقط اللوح تضغط مدة ٤ نوان وحيثئذ يحدث عن عدم تساوى السطوح

النائي عن التصاقها ببعضها مقاومة بها بتغير الصورة التي تكون لها عند الانضغاط ومع ذلك فالمدة المذكورة التي هي ٤ ثوان تكفي في تغيير صورة تلك السطوح وتختزن جزء منها على ذلك اذا كانت النقالة المستندة الى زوايا مستديرة تتزحلق على عروق الخشب فان الاحتكاك يصغر بالمناسبة في الانضغاطات الكبيرة والصغيرة واما اذا كانت هذه اقواعد المصنوعة على صورة خابور موضوعة في طرف النقالة فان كل قطعة من قطع لوح الاختبار عند تحرك النقالة لا تكون مدة انضغاطها الا بقدر مرورها على الزاوية وهذه المدة ليست طويلة بحيث تكفي في تغيير عدم التساوي تغيرا ينافي ان كان يكون الاحتكاك في هذه الصورة كالاحتكاك في صورة ما اذا كان امتداد السطوح متناهيا وحيث انه في كلتا صورتين لا تتغير صورة عدم التساوي الا بكمية يسيرة فان عدم التساوي المذكور يكون متداخلا في بعضه بدون مانع وجميع ما سلفناه من النتائج انما هو في صورة احتكاك البلوط على البلوط واما في صورة احتكاك الراتنج على الراتنج والدردار على الدردار فان نسبة الضغط الى الاحتكاك تكون على هذا الوجه

راتنج على راتنج ٦ : ١

دردار على دردار ١٠ : ١

وفي صورة مماسة الاخشاب للمعادن يكون الاختلاف اظهر مما في صورة مماسة الاخشاب للاخشاب

فيثبت من مبدء الامر باسفل النقالة قواعد من حديد معدة للاحتكاك على لوح الاختبار المتخذ من البلوط واما ما كان الضغط بالنسبة الى السرعة الهيمنة يكون الاحتكاك على الثلث من هذا الضغط تقريبا وتكون نسبة ضغط النقالة الى القوة التي تسيرها في كل ثانية خطوة كنسبة ٦ : ١ وهذا الفرق العظيم الواقع في النسبة لا يحصل عند ازدياد السرعة في السطوح الصغيرة المماسية التي تضغطها اقبال كبيرة ولا في الاخشاب المصنوعة ويكاد يظل تأثير السرعة في الاحتكاك اذا مضى بعد الاحتكاك عدة ساعات

وفي جميع التجارب الا في ذكرها تكون الاجسام المتماثلة مغمورة بالدهن
والذي يلايم تقيص احتكاك الاخشاب من الادهان هو الشمع ودهن الخنزير
القديم واما الزيت فلا يستعمل الا في المعادن ولما كانت الادهان من الاجسام
الليينة الرخوة كان تليفيها لاحتكاك السطوح اتما هو بل تجاوب
تلك السطوح بالادهان المذكورة وتوسيطها بينها وجعلها على بعد واحد
من بعضها وهذا هو السبب في أن الادهان الشديدة الرخوة تكون دائما رديئة
جدا بالنسبة للانضغاطات العظيمة فاذا كانت السطوح المتماثلة زوايا
مستديرة قصت الادهان احتكاك النقلة قليلا واذا مررت النقلة التي لها
سطح غمس كبير مرتين او ثلاثا على شحم واحد شوهد أن هذا الشحم ينطبق
على اللوح ويدخل في مسام الخشب ولا يقاوم تعشق الاجزاء بعضها الامقاومة
واهية وقد ازداد الاحتكاك ازيدا اعطيا في عدة تجارب تكرار استعمالها
بدون تجديد دهن ولتذكر لك هنا قبل أن تتكلم على التجارب الحاصلة
في صورة دهن الاخشاب في كل مرة السبب الذي ينشأ عنه غالباً عدم ضبط
النتائج فنقول

اذا تم الصانع عمل لوح الاختبار والنقلة واهتم كل الاهتمام بتحسين سطوحهما
وصقلها بالفارة الكبيرة اوراق السمك او بزحلقتهما على بعض ما عدة مرات
وهما جافان فالتامع ذلك نرى عند دهن السطوح انه ينشأ عنها في الاحتكاك
مقدار كبير من عدم التساوي يعظم بقدر كبر امتداد السطوح وصغر الضغط
وبه يزداد الاحتكاك ازيدا اظاهرا بالنسبة لازدياد السرعة وليس لهذا
الاختلاف قواعد صحيحة تضبطه ولا براهين نظرية تحققة غير أن النقلة
اذا ترحلت بمعاونة الدهن بالشحم اودهن الخنزير القديم عدة ايام متوالية
وكان عليها انقال جسيمة كان الاحتكاك دائما مناسبا لضغط تقريرا وبذلك
لا تزيد النسبة بزيادة السرعة الا زيادة هينة

ولاجل تعيين تأثير الدهن بالشحم الذي يتجدد في كل تجربة من التجارب
الآتية في احتكاك البلوط على البلوط تستعمل النقلة التي استعملت

منذ ثمانية أيام في التجارب الحاصلة في شأن الاحتكاك وقد جرب الدهن بالشحم المتجدد في اغلب المرات أكثر من مائتي مرة وكان الواقع على كل دسيترا مربع ضغط عدة قناطر

فظهر في الخمسين الأولى من تلك التجارب اختلال عظيم وكان ما بعدهادونها في الضغط وكان كل من النقالة ولوح الاختبار يظهر أنه قد بلغ الغاية في الصغر الذي يقبله خشب البلوط وهالك نتيجة التجارب الستة التي علمت في شأن سطح تماس يبلغ امتداده ١٣ دسيترا مربعا

$$\text{تجربة أولى} \quad ٢٧,٦ = \frac{٣٢٥٠}{١١٥} = \frac{\text{ضغط}}{\text{احتكاك}}$$

$$\text{تجربة ثانية} \quad ٢٥,٨ = \frac{١٦٥٠}{٦٤} =$$

$$\text{تجربة ثالثة} \quad ٢٣,٦ = \frac{٨٥٠}{٣٦} =$$

$$\text{تجربة رابعة} \quad ٢١,٥ = \frac{٤٥٠}{٢١} =$$

$$\text{تجربة خامسة} \quad ١٨,٥ = \frac{٢٥٠}{١٣,٥} =$$

$$\text{تجربة سادسة} \quad ٧,٧ = \frac{٥٠}{٦,٥} =$$

والنتيجة هنا مشكلة من وجهين احدهما المقاومة الثابتة الناشئة عن التصاق اجزاء الشحم ببعضها واستداد السطوح والثاني المقاومة الناشئة عن مجرد الاحتكاك فاذا طرحناه هذه الكمية الثابتة حدث

تجربة أولى	$\text{احتكاك} = \frac{\text{ضغط } 3250}{113} = 28,7$
تجربة ثانية	$= \frac{1600}{59} = 27,1$
تجربة ثالثة	$= \frac{850}{31} = 27,4$
تجربة رابعة	$= \frac{450}{16} = 28,1$
تجربة خامسة	$= \frac{250}{8,5} = 29,4$
تجربة سادسة	$= \frac{50}{1,75} = 28,6$

وما ذكرناه من التفاصيل يكفي في بيان حكمة تجارب كلب المتوالية التي عملها في شأن احتكاك عدة انواع من الخشب على بعضها واحتكاك اخشاب على معادن واحتكاك المعادن على معادن مدهونة وذلك لا يخرج عن الصور الاتية وهي

أولاً أن يحدث عن احتكاك الاخشاب المترحلة على بعضها وهي جافة بعد استقرارها مدة كافية مقاومة مناسبة للانضغاطات تزيد في مبادئ الاستقرار زيادة بينة الا انها تصل في العادة بعد مضي بعض دقائق الى حدها وانها يتها الكبري

وثانياً اذا كانت الاخشاب تتزحلق على بعضها بسرعة ما وهي جافة فان الاحتكاك يكون ايضا مناسباً للانضغاطات الا أن شدته تكون دون المقاومة الحاصلة عند الاجتهاد في فصل السطوح عن بعضها بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار فتكون مثلان نسبة القوة اللازمة لفصل سطحين من البلوط وتزحلقهما على بعضهما بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار الى القوة اللازمة للظفر بالاحتكاك عند اكتساب السطوح درجة ما من السرعة

كسبة ٩٥ : ٢٢,٢ أو ١٠٠ : ٢٣

وثالثاً أن يكون احتكاك المعادن المترحلة على المعادن بدون دهن مناسباً أيضاً للانضغاطات إلا أن شدته لا تختلف سواء كان المطلوب فصل السطوح عن بعضها بعد مضي زمن ما من الاستقرار أو كان المطلوب بقاء أى سرعة منتظمة

ورابعاً أن تكون نتائج احتكاكات السطوح المختلفة كالأخشاب والمعادن المترحلة على بعضها بدون دهن مخالفة بالكلية للنتائج المتقدمة لأن شدة احتكاكات تلك السطوح بالنظر إلى زمن الاستقرار تزداد مع البطء ولا تسهل إلى حدّها إلا بعد مضي أربعة أيام أرخمسة وبعجازادت على ذلك لكنها في المعادن تصل إليه بعد مدة من الزمن وفي الأخشاب بعد مضي بعض دقائق وهذا الازدياد يكون أيضاً بطيئاً بقدر ما تكون مقاومة الاحتكاك في السرعة غير البينة مساوية تقريباً لمقاومة التي يمكن مجاورتها عند ارتجاج السطوح أو اقصالها عن بعضها بعد مضي ثلاث ثوانٍ أو أربعة من الاستقرار وليس ذلك عاماً في جميع الصور فإن السرعة في الأخشاب المترحلة على بعضها بدون دهن وكذلك في المعادن المترحلة على بعضها لا تؤثر في الاحتكاكات إلا تأثيراً بسيطاً ولكن الاحتكاك هنا يزيد زيادة بينة بازدياد السرعة وبالجمله فالاحتكاك يزداد على وجه التقريب الحسابي بازدياد السرعة على وجه التقريب الهندسي ولنذكر لك قضية كلب النظرية فنقول

لا يتأق الاحتكاك إلا من اشتباك خشونة السطوح ببعضها ولا يؤثر فيها الالتصاق إلا تأثيراً بسيطاً لأن الاحتكاك في سائر الأحوال مناسب تقريباً للانضغاطات ولا علاقة له بامتداد السطوح وحينئذ يكون الالتصاق بالضرورة مؤثراً على حسب عدد نقط التماس وعلى حسب امتداد السطوح مع ذلك فلما كان هذا الالتصاق ليس معدوماً بالكلية بذلنا الجهد في تعيينه بالتجارب السابقة المتنوعة فوجدناه يساوي نحو ٨ كيلوغرامات في كل متر مربع من سطوح البلوط غير المدهونة ولكن يمكن

في العمليات اجمال المقاومة الحاصلة من هذا الاتصاق كلما كثرت الكيلوغرامات على المتر المربع

وليست السطوح فيما ذكر من العمليات متغيرة عن اصلها بالدهن فعلى ذلك لا يمكن أن تتغير الحوادث الا تغيرا لا يدمنه في طبيعة الاجزاء التي تتركب منها الاخشاب والمعادن وذلك لان الاخشاب مركبة من الياض ممتدة واجزاء لينة مرنة والمعادن بعكسها فهي مركبة من اجزاء منزوية كروية صلبة غير قابلة للانثناء بحيث لا يمكن للضغط والجذب ولو بلغا اقصى الدرجات ان يغيرا صورة الاجزاء المتركة منها سطح تلك المعادن واما الياض المتنوعة التي تتركب منها الخشب فيسهل انثناءها في سائر الجهات

ولاجل تقريب ما ذكر نقول ان الياض التي تستر سطح الاخشاب تتداخل في بعضها كشعور القرشتين عند ملاقاتهما

فاذا اريد تحصيل درجة الجذب الذي لا يدمنه في زحلقة احدى القرشتين على الاخرى لزم اختبار وضع الشعور في الزمن الذي يلزم فيه الاجتهاد في فصل القرشتين عن بعضهما بعد مضي مدة من الاستقرار وكذلك يلزم اختبار ما تكون عليه الشعور من الوضع المخالف متى كان لكل من القرشتين عند زحلقتهما على بعضهما تحركا اما كان

فلو وضعت حينئذ خشبية جيدة الصقل على اخرى تداخلت الياض التي على السطوح في بعضها بدون مانع

فاذا اريد الان زحلقة الخشبية العليا على السفلى فان الياض هذين السطحين تنشق على بعضها حتى تمام بدون تعشق ومتى وصلت الياض المتماسكة الى هذا الوضع لم يأت ميلها اكثر من ذلك وتكون زاوية ميلها المتعلقة بسمك الياض واحدة في جميع درجات الضغط فعلى ذلك لا بد في جميع درجات الضغط من قوة تناسبه حتى لا تعشق الياض التي تتزحلق على بعضها بحسب زاوية هذا الميل

ولكن اذا انفصلت الثقالة واستمرت على التزحلق انعدم تعشق الياض

وبانعدامه يتخلل الالياف المتجاورة من سطح واحد فراغ فميل تلك الالياف على بعضها حتى تتماس وبناء على ذلك تكون زاوية ميلها اعظم من المتقدمة الآن هذا الميل يكون واحدا في سائر درجات الضغط فعلى ذلك يلزم في السطوح المتحركة أن يكون الاحتكاك مناسبا للانضغاطات ولا يحصل تغير في هذه القاعدة الا اذا آلت السطوح التماسا الى اصغر ابعادها لانه اذا وقع على الاجزاء الداخلة من السطوح تأثير انضغاطات عظيمة ~~ام~~ ~~مكن~~ ميل الالياف ايضا وقد وجدنا ذلك في النقالة الموضوعة على زاويتين مستديرتين من البلوط عند ترزحلقها على عروق الخشب

وبالقاعدة المذكورة يسهل ايضاح هذه الملاحظة وهي انه متى ترزحلت قواعد البلوط الحاملة للنقالة في جهة طولها وانضغطت تقط لوح الاختبار الثابت الموضوعة تحت هذه القواعد في المدة التي تستغرقها النقالة في قطع طولها كان هذا الزمن كافيا في ارتفاع السطوح وميل الالياف ميلا كثيرا بحيث تكون اطرافها متماسة لكن اذا كانت الزوايا الحاملة للنقالة موضوعة في طرف النقالة ومارة منها فان قطع تماس الالياف مع لوح الاختبار الثابت لا يتجدد مناترتي فيه بكيفية محسوسة لعدم وقوع تأثير الانضغاط عليها الا في مدة يمنية وتكون نسبة الضغط الى الاحتكاك واحدة في سائر الانضغاطات ~~كبيرة~~ كانت اوصغيرة

وليست المعادن مركبة من الالياف ولا من اجزاء لينه ولا يتغير وضع تجويف شكلها على اى حالة كانت فعلى ذلك اذا كانت النقالة متحركة او ساكنة فان شدة الاحتكاك تكون واحدة دائما لان لها تعلقا بصورة العناصر المادية التي تتركب منها السطوح ويميل المستوى المماس في قطع التماس فاذا ترزحلت الاخشاب على المعادن دخلت ألياف الخشب المرنة في التجويفات وحيث ان تلك الالياف لينه مرنة كان دخولها في التجويفات المذكورة تدريجيا فعلى ذلك تزداد مقاومة الاحتكاك كلما طال زمن الاستقرار الذي يعقب الجهد المبذول لاجل ترزحلق السطوح على بعضها ولكن اذا فرضنا

أن الثقالة متحركة فان صورة الالياف التي تسر سطوح الخشب ترتقي عند ملاقاتها لخشونة المعدن لتجتاز رؤس هذه الخشونات وهذا اللين ضروري لا يتمنه حتى تكون مقاومة مرونة الالياف مناسبة للضغط فيكون حيثئذ الاحتكاك في السرعة الغير اللينة مناسباً ايضاً للضغط كما دلت على ذلك التجربة فاذا تحركت الثقالة بسرعة ما حيث ان تجويفات سطح المعدن متسعة بالنسبة لسلك الالياف الخشب فان هذه الالياف بعد مرورها على خشونات السطوح المعدنية يرتفع جزء منها على صورة جلة من اليايات فيلزم اذن اثناؤها اثناء جديداً حتى تجتاز ما بقي من الخشونات ويكثر اثناؤها كلما عظمت السرعة فاذن يزداد الاحتكاك بموجب قانون السرعة ولكن مع ذلك كلما اخذت السرعة في الازدياد يكون اثناء الالياف على شكل زاوية صغيرة لان تلك الالياف عند مرورها من خشونة الى اخرى لا تجد زمناً تستقيم فيه استقامة تامة

ولما كانت سطوح التماس في احتكاك الاخشاب والمعادن المدهونة بالشحم على بعضها عبارة عن زوايا مستديرة لم يكن للسرعة تأثير في الاحتكاك عند ترحلق القواعد على عروق الخشب ومثل هذا الاحتكاك يترأى منه أن الشحم يلصق اليااف الخشب ببعضها ويزيل جزءاً من مروتها ولذا ذكر هنا ملحوظة مهمة لا يتمنها في هذا الموضوع فنقول لما ادار كلب بكرة من خشب الايبيا على محور من الحديد ليس به دهن وجد الاحتكاك في طرف العشرين دقيقة الاولى يزداد بازدياد السرعة بموجب قوانين كقوانين الاخشاب والحديد المقررة في تحرك الثقالة وذلك لان البكرة في هذه الصورة جديدة ومع ذلك فبعد استغراق الاحتكاك المتواصل بالنظر الى سرعة الدوران مدة ساعتين ينعدم من الالياف معظم مروتها ويكاد الاحتكاك أن لا يزداد بازدياد السرعة ومثل ذلك ينشأ بسرعة عند دهن المحور بالشحم فانه بعد أن يستغرق تحرك الدوران دقيقة بالنسبة الى ضغط قدره ٦٠٠ رطل يكون احتكاك البكرة المتخذة من خشب الايبيا الموضوعة على محور

من الحديد مدهون بالشحم واحدا دائما ويكون لها درجة ما من السرعة
واذا قابلنا بين مقاومة احتكاك الجسم له ثقل مقروض يسير الى جهة الامام
وهو مستند على جسم آخر كالعن الدوران وبين المقاومة الحادثة من الجسم
الاول الذي يدور على الثاني وجدنا هذه المقاومة الاخيرة دون الاولى بكثير *
مثلا اذا دحرجنا الخشب على الخشب كانت نسبة المقاومة الى الضغط بالنظر
الى ملف صغير كنسبة ١٠٠ الى ١٦ او ١٨ وبالنظر الى ملف
كبير كنسبة ١٠٠ الى ٦ فاذا حصل التزحلق بدون أن تدحرج
الخشب على الخشب تغيرت النسبة وصارت من ١٠٠٠ الى ٢٠٠
او من ١٠٠٠ الى ٣٠٠ على حسب جنس الخشب فعلى ذلك اذا
دحرجنا جسم مستديرا على جسم مستوي بدلا عن سحبه بدون دوران زاد
مقدار النسبة في ذلك من ١٢ الى ٢٠

وبما ذكرناه يكون استعمال النقل في اشغال الصناعة هو الاولى والاحسن
فاذا فرضنا أن عربة تحملها ١٠٠٠ كيلو غرام يحملها هملتان فان كانتا
مثبتتين في المحور واحتكاكهما على ارض ذات اخاديد من الخشب ولم يكن فيما
قضبان معدنية فان مقاومة الاحتكاك تبلغ ٢٠٠ كيلو غرام واذا كانت
العجلة لا تدور الا بالصعوبة فان مقدار هذه المقاومة يتغير فورا ولا يبلغ الا
كيلوغرامات فما دونها فاذا فرضنا حيث نذ أن المحور له قطر يساوي واحدا
من خمسين من قطر العجلة فان تلك العجلة متى دارت دورا كاملا كانت كل نقطة
من قطبيت المحور المماس له تقطع سطحا اقصر من محيط العجلة خمسين مرة فعلى
ذلك تكون سرعة هذا البيت عند احتكاكه على سطح ذلك المحور مساوية
لواحد من خمسين من سرعة العجلة بالنسبة الى النقطة المماسية للارض وحيث
لم يكن ثم مانع فاحتكاك العجلة على المحور يساوي واحدا من خمسين من
احتكاكها لو استعملنا بدل العربة ثقالة وزحلقتها على الحديد ومن هنا يعلم
ما ينقصه النقل من مقاومة الاحتكاك لاسيما اذا تعشق بيت المحور جلب من
النحاس لاجل لطيف احتكاكها على حديد المحور فلم يبق علينا حيث نذ في الطفر

بالمقاومات الظاهرة للمقاومة خشونة الارض والتصاقها بحيط العجلة وهذه
المقاومة تنقص تقصا يذنا باستعمال سلك الحديد

فاذا كان المطلوب ثقل احوال ثقيلة لتوضع على العربات فان العتالين يزحلقونها
على ملفات او اكر (شكل ٨)

وقد شاهدنا في بلاد ايقوسيا انهم يرفعون السفن من البحر على مستوماثل
فيضعونها على نوع من العربات له عجلات صغيرة تجرى على سكة من الحديد
وبهذه الطريقة لا يحتاج في رفع السفن الثقيلة من البحر الى كثير من الناس
بل يكفي القليل منهم وقد سبق لك ذكر الكيفيات التي وصلت بها الصناعة الى
تتقيص مقاومات الاحتكاك وهناك احوال يعكس هذه الكيفيات تزداد بها
تلك المقاومات بقدر الامكان مثلا اذا انتقلت العربات من سكة اقصية الى سكة
منحدرة جدا لزم منعها عن أن تأخذ في سرعة مهيبة تكون عاقبتها خطرة وذلك
يحصل باحد امرين اما أن تمنع العجلات عن الدوران واما أن تخلق على
احتكاكها على الارض الا أن مقاومة الاحتكاك الحاصلة للعجلات في هذه
الصورة تبرى قضائها في اسرع وقت وتجعلها غير صالحة للاستعمال ويمكن

تدارك هذا الضرر بواسطة زمام معدني كزمام ص (شكل ٩) يعشق بحيط
العجلة ويتوسط بينها وبين الارض ويكون ممكبا بسلسلة مثبتة في مقدم العربة
وهذه الطريقة لا تخلو عن الضرر ايضا وذلك انه اذا لم تكن الارض مستوية
استواء تاما بأن كان فيها شقوق او اجار عظيمة المسافة فلامانع من أن العجلة
تثقل من الزمام فيؤدي ذلك الى اشتداد الخطر

والاولى في منع الضرر ان نستعمل قوس دائرة من خشب او معدن بأن نضعه
خلف احدى العجلات الكبيرة (شكل ١٠) على وجه بحيث يمكن تقريبه
من هذه العجلة بواسطة برمة الضغط فاذا ازداد هذا الضغط نشأ عنه مقاومة
احتكاك تناسبه ثم نعدم تحرك العجلة بعد مدة يسيرة وهذه الكيفية التي لا مانع
من تحسينها وتطبيقها وتقومها وزيادتها عند الاقتضاء ترجح على غيرها في عدة
امور وهي الآن مستعملة في عربات الثقل وغيرها من سائر انواع العربات

ومن المهم في الآلات الكبيرة لاسيما طواحين الهواء منعها عن سرعة السير
او تطبيق ذلك بقدر ما يراد ان لم يمكن المنع المذكور وذلك لا يحصل الا بواسطة
زمام كزمام **ابث** (شكل ١١) والمراد بالزمام هنا قوس دائرة كبيرة
من خشب محاط من خارجه بقضيب من حديد وأحد طرفيه ثابت والآخر
ملصوق بذراع راحة صغير فاذا وقع على الذراع الكبير من هذه الراحة تأثير قوة
فان هذا الزمام يجبر على القرب من العجلة الكبيرة وبذلك تشترك مع الآلة
في التحرك وتضغط هذه العجلة ضغطا كبيرا جدا فتكون مقاومة هذا الضغط
كافية في تحصيل التأثير المطلوب واذا تأملت تجارب كلب في سائر
احوالها عرفت في اى ضغط فرضته مقاومات احتكاك الازمة التي يراد
استعمالها

ومن الآلات التي يرجح فيها الزمام على غيره الجرو اى العيار ان بدون ذلك
لا يمكن للشغالة النظر تلك الآلة على الحمل المطلوب رفعه الا ينذل مجهودات
تكفي في ذلك والاحتكاك تحت كاهقهق را بسرعة بحيث يترتب على ذلك عوارض
عظيمة واطار جسيمة ويرجح استعمال الزمام ايضا في الطارات الكبيرة
المستديرة كما سبق بيانه في طواحين الهواء لان التأثير الحادث عنه يمنع من
وقوع الضرر بالكلية

ويوجد بمدينة لندرة مخازن يقال لها مخازن الدول بها مخبونات في امثل
هذا الزمام وهي معدة لادخال البضائع في تلك المخازن واخراجها منها فاذا اريد
تنزيل هذه البضائع من المخبونات اخلت منويلا تهادفعة واحدة فيبط الحمل
بالسرعة الناشئة له عن تاقله ويكون احد مهرة الشغالين قابضا بيده على
الذراع الكبير من الراحة الواقع تأثيرها على الزمام المذكور فينتظر الحمل الهابط
حتى يبقى بينه وبين الارض او العربة التي يلزم وضعه عليها اقل من متر فعند ذلك
يتكئ على الراحة دفعة واحدة فيقف الحمل حيث وقف وقفا وقبلا

(الدرس الرابع عشر)

(في بيان الضغط والشد والمرونة على العموم)

قد اختبرنا فيما سبق تأثير القوى في الاجسام من حيث انكماشها وتمددها مع فرض ثبوت ابعادها وهو فرض عن الحقيقة بمعزل فان اغلب الاجسام التي يقع عليها تأثير القوى لاجل انكماشها ينقص بعدها في الجهة التي يحصل فيها الانكماش

والمقصود هنا بيان هاتين الاجسام المتنوعة من البيانات الكلية فنقول هناك بعض اجسام يظهر أنها تتأثر بأدنى ضغط بدون مقاومة وتبقى بعد الانضغاط على الابعاد التي تحدث لها من الضغط وهذه هي الاجسام الرخوة وهناك اجسام اخرى تتأثر ايضا بالضغط مع السهولة الا أنها بمجرد انقطاع تأثير القوة الضاغطة تأخذ الابعاد التي تناقصت بتأثير هذه القوة في الازدياد حتى تقرب من الابعاد الاصلية كثيرا او قليلا وهذه الاجسام التي ثبتت لها هذه الخاصية هي الاجسام المرنة

ولا تكون الاجسام تامة المرونة الا اذا عادت الى ابعادها الاصلية بالسرعة التي انعدمت منها حين الضغط ولكن ليس هناك من الاجسام التي على اصل الطبيعة ما هو بهذه المثابة

واذا ضغط الجسم اول مرة خلى وقته بأن يبطل تأثير القوة الضاغطة ليعود الى ابعاده الاصلية بقدر الامكان فان عادت هذه القوة الى التأثير ضغط الجسم ثانياً ضغطاً اشد في العادة من ضغط المرة الاولى واذا بطل تأثير القوة الضاغطة عاد في العادة الى ابعاده الاصلية لكن لا كل مرة الاولى بل دون ذلك فعلى هذا تتناقص مرونة الاجسام شيئاً فشيئاً بتركز تأثير القوى الضاغطة ومع ذلك فكثير من الاجسام لا ينعدم من مرونته في كل مرة الاجزاء غير محسوس ومثل هذه الاجسام يقبل الاستعمال زمناً طويلاً مع ما يقع عليه من كثرة تأثير القوى الضاغطة الذي يوجد تارة وينعدم اخرى

ويكثر في الصناعة استعمال الاجسام المرنة القابلة للانضغاط لاجل توزيع الضغوط المشتركة توزيعاً بالسوية بواسطة القوة التي لا تؤثر الا على اتجاها مستقيم واحد فاذا كان المطلوب مثلاً أن تنقل على فرخ من الورق او على قطعة

من القماش قشما موجودا على لوح معدني فالتأضع على القرخ او القماش
جسما مرنا قابلا للانضغاط ونضع فرخا آخر على اللوح المعدني ثم نضع فوق
الجميع جسما صلبا مستويا يقع عليه تأثير القوة في نقطة واحدة او اكثر وبقل
هذه القوة على الجسم الصلب المذكور تضغط الاجزاء البارزة من الجسمين المرين
على التوالي ويمجر تضغطها للاجزاء البارزة تتلاقى مع ما بقى من الاجزاء وتضغط
معظمها بحيث يقع على جميع قسط السطح الذي تلاقى مع اللوح المعدني من جهة
ومع فرخ الورق او قطعة القماش من جهة اخرى جزء من القوة الضاغطة يكفي
في دخول القماش او الورق اللذين هما جسمان قابلان للانضغاط في تجويفات
اللوح فيحدث من ذلك نقل النقش وطبعه

ويستعمل في كثير من الفنون ما هو من قبيل تلك الاجسام المرنة او الرخوة التي
تستعمل في توزيع الضغوط توزيعا منتظما والاقوت كلها على نقطة واحدة
فتقت الجسم المطلوب ضغطه او تغير صورته

فاذا كان المطلوب صقل اجسام معدنية او خراطها وكان سطح تلك الاجسام يلزم
الاعتناء به بالكيفية فالتأضع بين هذا السطح وفكي الكاشة جسما رخوا
كالخشب والرماس والنحاس وما اشبه ذلك فيتوزع به الضغط على عدة
من نقط سطح الجسم المطلوب صناعته وبهذه الكيفية لا يلحقه ادنى تلف

وفي حزم البضائع ونحوها مما يخشى على سطحه التلف يلزم تحويطها باجسام
مرنة ولا ضرر بعد ذلك في ضم هذه البضائع الى بعضها بالبال لان ضغط تلك
البال حيثئذ يكون موزعا على الاجسام القابلة للانضغاط المحيطة بها فيكون
ما يصل من الضغط الى النقط المختلفة من الاجسام المحزومة على غاية من الخفة

وسياقى في الدرس المعقود لاصطدام الاجسام اختيار مثل هذه التأثيرات
في الاجسام المرنة المعدة لتحويل التحركات السريعة او تلطيفها

واذا فرض أن قوتين يؤثران في جهتين متضادتين لاجل ابعاد اجزاء جسم
عن بعضها فانهما يمتدان ويزيدان كثيرا او قليلا بعد هذا الجسم في جهة
المستقيم الذي يصل بين نقطتي وقوع القوتين المتجهتين الى جهتين متقابلتين

وهناك اجسام تقع عليها تأثير القوى التي يحصل بها الامتداد بدون احتياج الى عظيم جهد فاذا امتدت اول مرة لا تعود الى ابعادها الاصلية وهي الاجسام الرخوة وثم اجسام اخرى تعود الى ابعادها شيئاً فشيئاً حتى تصل الى حالتها الاصلية عند انقطاع تأثير القوى التي يحصل بها الامتداد وهي الاجسام المرونة وهناك اجسام اخرى ايضا ثبت لها هذه الخاصية وهي عودها الى ابعادها الاصلية سواء كانت منكشمة او ممدودة وبالجمله فالاجسام منها ما يعود الى ابعادها الاصلية عوداً تاماً اذا انكمش ولم يمتد ومنها ما يعود اليها اذا امتد ولم ينكمش

ومن المهم جداً في سائر فروع الصناعة بالنسبة الى المواد الاولى التي لم تدخلها الصناعة والمواد التي دخلتها الصناعة وكذلك مادة خواص المرونة أن يتقرب دائماً لكل صنعة ما يلائمها من المواد ولا مانع من تعلم ذلك في سلك التجارب المضبوطة التي لم نعمل الى هنا الا في عدد قليل من الاجسام والاحوال التي لا يعتنى بشأنها كثيراً

وليس في الاوتار المتخذة من النيل والحرير والقطن ونحو ذلك ولا في السلوك المعدنية قابلية لمقاومة الضغط وذلك ناشئ عن صغر قطرها بالنسبة لطولها وانعكاسها قابلية لمقاومة الشد كل منها على حسب درجته في القوة والمرونة وما فيها من المرونة يجعلها مستحسنة في اشغال الصناعة

مثلاً اذا كان المطلوب تحويل تحرك دوران من قرص الى آخر او من طنبور الى اخر فاشتهرت من فوق حلق القرصين او على محيط الطنبورين جبلا او سيرا يكون له في الشد درجة معلومة ونوزع الشد توزعاً منتظماً على جميع نقط ذلك الحبل او السير فيقع تأثير الشد على كل من هذه النقط حتى يعود الحبل او السير الى بعده الاصلى ولا يتأثر ذلك الا اذا ضغط محيط القرص او الطنبور بالحبل او السير فاذا تحرك بعد ذلك احد القرصين او الطنبورين جذبت مقاومة الاحتكاك الحبل او السير على محيط القرص الاول او الطنبور الاول ويحدث من الضغط الواقع من الحبل او السير على القرص الثاني او الطنبور الثاني

احتكاكاً يحول التحرك الى هذا القرص الثاني والطنبور الثاني وبلاستعمال
تناقص المرونة المضادة للشدود تناقص تدريجياً فلذا كانت الحبال والسيور
المستعملة وان كانت مقاومة دائماً بواسطة مرستها لا تقاوم الاشياء فسياً ولا تمتد
الا بالتدريج ومثل ذلك يحمل الانسان على البحث عن الطرق التي يسلكها
يجتنب هذا المذ (راجع الدرس الثالث من الجزء الاول)

فاذا كانت الاوتار معدودة ومشدودة بالكلية وضرب على ما كان متطرقاً من
قطعات ثم خليت ونفسها فانها تتحرك كمتدداً كثيراً او قليلاً يعرف بتحرك
الاهتزاز فتشير عند ذلك التحرك ما يكتنفها من الهواء فيحدث الصوت واذا
ازداد بالتدريج شد الوتر علت بالضرورة الاصوات الحادثة منه عند اهتزازها
وانقلت بالتدريج من الرخا الى الحادة ويكون في هذه الاصوات المتكونة بهذه
المناسبة ما يطرب الاسماع ويصلح لان يعد من ألحان المويستي وقد تعينت بالتجربة
النسب الحاصلة بين شدود الوتر اعني الاتقال المستعملة في تحصيل الشد الذي
تحدث عنه ألحان المويستي فعلى ذلك يكون تعيين ألحان في المويستي نتيجة
تجربة ميكانيكية

فاذا كان المستعمل وتر واحد وفرضنا له طولاً فان الاصوات في هذه الحالة
تكون رخوة بقدر كبير قطر الوتر وقد تعينت النسب الحاصلة بين ارتفاع
الاصوات وقطر الاوتار المختلفة وصارت معلومة والالات ذات الاوتار
عبارة عن عدة اوتار معدنية او متخذة من جلود الحيوانات متحدة الابعاد
والاطوال بحيث ينشأ عنها بين حدود معلومة تقاسيم ألحان المويستي وهي
الاهوية والمقامات وقد اقتصرنا في تعيين استعمالها على ما سنذكره فنقول
اذا نقص طول الوتر الباقى على شدة الثابت فان الاصوات التي تحدث عنه
تكون حادة مرفعة بخلاف صورة العكس وهي ما اذا زاد طولها فانها تكون
رخوة

ودراسات الاتالات ذات الاوتار هي عبارة عن روافع الغرض منها ضغط نقطة
ثابتة في بعض الاجزاء المتوسطة من الاوتار لاجل تقصيص طولها فعلى هذا

يحدث بالتوالي في وتر واحد أصوات مرتفعة قليلا أو كثيرا وبذلك تزداد الآلات حسنا وجودة

ولما انتهينا الكلام على مرونة الخيوط منفردة ناسب أن نشرع في الكلام على مرونتها مجتمعة فنقول ان الخيوط المستعملة في صناعة الاقشة تكون مرنة كثيرا اقليلًا وبهذه المرونة تسهل صناعتها فعلى ذلك اذا لم تكن خيوط النسيج ممدودة بالسوية في وقت واحد ولم يمكن تغيير بعدها بدون انقطاع فان عدم تساويها الناشئ عن الابعاد او عن الحركات التي تقتضيها صناعة نسيج الاقشة يوجب انقطاعها ولو كان عدم تساويها المذكور خفيفا وهناك خيوط على العكس من الخيوط المذكورة حيث انها عند وقوع تأثير القوى عليها تمتد دفعة واحدة وتعود الى ابعادها الاصلية ولا يعرض لها انقطاع الا اذا طرأت عليها عوارض على خلاف العادة

ثم ان الاقشة المعدة للباس اذا لم تكن منسوجة من خيوط مرنة لا يتكون منها الاسطوح منفردة بفرضها غير قابلة للمد أو سطوح لا تعود الى صورتها الاولى اصلا بفرضها رخوة بالكلية ولكن يمكن بواسطة المرونة أن يكون لبعض اجزاء تلك الاقشة انحناء أن يكونان تارة في جهة واحدة وتارة في جهتين متقابلتين وربما كانا تابعين للين اعصاب الجسم البشري في سائر الحركات المختلفة الحادثة من الاعضاء ولما كان كل من حجم هذه الاعضاء وانحنائها يتغير سريرا لاسيما في المفاصل لزم أن تكون الاقشة غير متعاضية على هذه الحركات وأن تعود فيما بعد الى صورتها الاصلية وذلك انما يحصل بواسطة مرونتها

وهناك بعض ملابس تحتاج في استنادها وضغطها الى بعضها الى قوة معلومة لا تتجاوز حدّها فاذا كان المستعمل لاجل حصول مثل هذه الانضغاطات نسيجا غير قابل للمد تألم منه اللابس عند تحرك جسمه الذي تكاد تزيد ابعاد هذا اللباس المحيط به فلهذا كانت احزمة النساء الافرنجية والقفازات والجوارب وسائر اجزاء الملابس المباشرة لجلد الانسان مصنوعة من مواد مرنة ويمكن أن يدرك بالتألم الحاصل للارجل من التعال التي ليست مرونتها كافية ما ينشأ

عن هذه الخاصية من المنفعة للنوع الانساني
وعوضا عن أن نستعمل خيوطا مستقيمة متوازية في تكوين السطوح المرونة
التي ليس لها الخاصية قبول كل خيط منها ليدفع نسيجا تكون فيه الخيوط
على اتجاه منقطع ويكون لها طول اعظم من البعد المستقيم الذي بين اطرافها
فان التسيج الذي بهذه المتابة يقبل المذاكر من التسيج الاعتيادي مع أن القوة
فيهما واحدة فاذا انقطع تأثير هذه القوة انضم التسيج الى بعضه بحيث تقطع
قطعة المتطرفة مسافة عظيمة وعلى هذا النوال يصنع التسيج المجدول الذي يصير
بواسطة الامتداد والاضغطا صالحا لاصلاحية تامة لستر الاعضاء الانسانية التي
تغير صورها وابعادها عند التحرك وهناك تأثير يضاهي تأثير الجدول وهو
الحادث من لف السلول المعدنية لقا حازون الان هذه الحزونيات ينشأ عنها التراد
عظيم جدا بين اطرافها بخلاف البعد المستقيم لهذه الاطراف فانه لا يقررد فيلزم
اذن أن القوة الواحدة سواء كانت مدعة للضغط او المذا يحدث عنها مدا وقبض
اكبر مما لو كانت مؤثرة في خيط ممدود ومن هنا استعمال السلول المعدنية
المنثنية اثنا حازونيا والاشطة الاقرنجية المرونة وبايات العربات وما اشبه ذلك
في كثير من الآلات

ولما كانت الجبال عبارة عن خيوط منثنية اثنا حازونيا كان لها بذلك درجة
في المرونة تباين درجة مرونة الخيوط الممدودة مدا مستقيما وهذه المرونة
تستحسن في الآلات لاسيما في ادوات السفن وموادها

وفي كائنات القرى والارياف اسطوانات طويلة من صفيج مدحون بلون
البياض على صورة شعوع كبيرة فتوضع فيما شعوع اعتيادية ويوضع تحت تلك
الشعوع حازون طويل من سلك من الحديد او النحاس الاصفر فينضغط هذا
الحازون انضغاطا كبيرا اذا كانت الشععة بحالها لم يتقص منها شيء فاذا حرق منها
جزء دفعها الحازون ورفعها الى اعلى بحيث تكون قبيلتها دائما في نقطة واحدة
على القاعدة العليا من الاسطوانة الطويلة التي هي على صورة الشععة
الكبيرة

وما اسلفناه من الكلام الى هنا انما هو في البحث عن تعيين المقاومة التي تكون للاخشاب قبل كسرها بالتأثير الواقع على أليافها عموديا وبضغط الاتصال المؤثرة في جهة هذه الالياف

ولاشك أنه يلزم الآن معرفة النهاية الكبرى لقوة الاخشاب حتى يتأتى أن نستعمل على الدوام في العمارات والآلات المركبة منها مواد تكون قوتها اعظم من المجهودات التي تقاومها لكن يلزم دائما أن نجتنب في الاستعمال النهاية المذكورة ما أمكن وكذلك في صورة عمل الاشغال التي يراد طول مكها بل يلزم اجتنابها اكثر من السابقة لان قوة الاخشاب تنقص دائما بتداول الزمن عليها لاسبابها وهناك عوارض كثيرة تطرأ على الاخشاب قتلها وتغيرها واصفها الاصلية

وثم امر آخر ليس دون المتقدم في النفع بل ربما كان نفعه اعظم وان كان على ما يظهر دون الاول في العمل به وهو البحث عن تعيين ما للاخشاب من المقاومات المتشابهة في صورة ما اذا وقع عليها تأثير قوى من شأنها انها تغير صورتها قليلا وتؤثر في مقاومتها المنبهة

وفي بناء العمارات وعمل الآلات والسفن ييلاد الفرج يفرض أن القاطع الجسمية القليلة الحمل تبقى على الصورة التي رسمت عليها ومما مضبوطا وهذا فاسد لان القوى الصغيرة لها بعض تأثيرات طبيعية وان كانت لا تدركها حواسنا لصغر حاجتها ولكنهما مع ذلك تنضم الى بعضها فيحدث عنها نتائج ظاهرة جسمية ولنذكر لك شاهدا على ذلك فنقول

لاشك أن اعظم عمارة يمكن عملها من الاخشاب هي السفينة والالمتظم في سلك الدونما القرنجية فاذا اريد انشاء سفينة من الدرجة الاولى في ترسانة فلانبد أن تكون في الارتفاع اعلى من المنازل القرنجية العالية ولا بد ايضا أن تكون مما يحمل الف قمرم ما يلزم لهم من المؤونة مدة ستة شهور ومن المدافع بقدر ما يلزم للحصن المخوف ويلزم ايضا أن تكون في الصلابة ملائمة لما تحمله من الاشياء المذكورة وقد اطلقنا هنا اسم الحاطين على جانيها المتخذين من الخشب لان

ممكهما ان لم يزد على سلك المحيطان الخارجة من المنازل القرنبيية العادية فلا اقل من المساواة لها ولا يذ أن تكون روابطها ومساندها على اختلاف انواعها محكمة الصناعة وكذلك ما فيها من الثعاس والحديد المعدين لحفظ جميع اجزائها وامساكها فهل بعد هذه الوسائل المتينة والوضع المحكم يسع من اطلع عليها أن يشك في بقاء صورة تلك السفينة على حالتها الاصلية بدون تغيير نعم هو في الواقع محال لانها بعد انقضاء علمها ونزولها في البحر نشأ عن عدم تساوي التأثير الواقع من الاثقال التي باطرافها وعن دفع المياه المصادمة لها أن الاجراء تنحى في جميع طول السفينة ويصير مقعرها على شكل قوس بحيث لو فرضنا وزنا طولها ٦٠ مترا كان سهمه في بعض الاحيان نصف متر فاكتر

ولاريب أن مثل هذا التغيير يعد جسيما اذ به لم تنب السفينة على حالتها الاصلية بل تغيرت تغيرا قويا في سائر صفاتها هذا وان اردت الوقوف على معرفة السهم الذي يبلغ وتر قوسه مترين عند عرض الانحناء المذكور وجدته اقل من عشرين ملية و هو مقدار قليل جدا بالنسبة لطول اقل احواله أنه يساوي اعظم قامة من قامات النوع الانساني

وقد كنت اول من تصدى لتقدير هذا التغيير الغير اليقن الواقع في الاخشاب تهذرت أولا مقاومة هذه الاخشاب في جميع تغيراتها عند ظهور تاثير تلك المقاومة اعنى حين تتغير صورة الجسم قليلا بما يحمله من الاثقال ولاشك انك ترى مع الفائدة أن ما ظهر بالتجارب الحاصلة في شأن كسر الاخشاب من القوانين وانواع الاختلال اعنى في صورة ما اذا تغيرت صورتها عن اصلها تغيرا عظيما ما يمكن ليس الا نتيجة لازمة للتغيرات الصغيرة جدا التي تبدل والنظر عند انحناء تلك الاخشاب قليلا

ولئذ كرت هنا على سبيل الاجال ما ألقناه من المباحث في شأن لين الاخشاب وقوتها وروبوتهما بواسطة التجارب التي حصلت في ترسانة قورسيير سنة ١٨١٦ ميلادية وفي ترسانة تولون سنة ١٨١٣ ثم في ترسانة دوتكرل في سنتي ١٨١٦ و ١٨١٧ فنقول ان ما ألقناه في تجارب ترسانة قورسيير مذكور في الجزء

العائثر من كتابنا المعروف بجوزال المهندسخانة واما الآلة التي استعملناها في تجارب ترسانة تولون فصورتها مرسومة في (شكل ٩) وصورة الآلة التي استعملناها في تجارب ترسانة قورسير مرسومة في (شكل ٢) قمرى في (شكل ٢) تازجة كبيرة مثبتا عليها مسندان اقيان في استواء واحد مسافة ما بينهما تبلغ مترين وما فيه من صور قطع اخشاب البلوط والسرو اوالزان اوالاتيخ اوالصنوبر مرسوم على شكل متوازيات السطوح وهذه المتوازيات السطوح تزيد في الطول على مترين وهي موضوعة بالتدريج

على مسندى **ض و ض** المذكورين وبها يقاس اقصر بعد بينهما وهي بارزة قليلا من الجهتين بحيث اذا اخذت كل قطعة منها في الانحناء لا تقصر حتى تسقط بين المسندين المذكورين

وقد وضعت على هذه المتوازيات السطوح التي سميتها بالمشورات قصدا للاختصار اتقالا بين المسندين على بعد واحد فانحنى كل من هذه المشورات نوع انحناء

ومن البديهي أن كل ضلع من اضلاع المشور مثل ضلع **أ ب ث** او **د ه ف** ينثنى على بعضه (شكل ٢) بحسب المنحنى المرسوم في مستو رأسي والمتمائل بالنسبة لمستوى **ه ب** الرأسي الممتد من نقطة المنتصف التي يكون الحمل واقعا فيها امتدادا عموديا على مستوى الانحناء وهذا المنحنى هو الذي كان يلزم تعيين اجزائه مع اعتبار الواجهة المحدبة من المشور المنتني وملاحظتها دائما

وقد لاحظت في جميع ما علمته من التجارب انه متى لم تكن الاثقال كبيرة بالكلية كانت **غ ب** التي هي سهام قسي **أ ب ث** الحادثة عن القاعدة المنثنية مناسبة لهذه الاثقال

ولكن اذا كانت السهام صغيرة جدا بالنسبة لوتر ثابت من عدة قسي فان انحناء

تلك القوى يكون مناسباً للمهام المقابلة لها مناسبة مضبوطة وقد امتنبتنا
من ذلك القضية الآتية التي توصلنا إليها فيما سبق بالعلوم النظرية وهي أن انحناء
الاخشاب الناشئ عن ائمال صغيرة جداً يكون مناسباً لهذه الاثقال وذلك
يكون قبيل انحناء هذا الانحناء بخط غيب الذي هو سهم قوس آ ب ث اعني
بانخفاض النقطة المتوسطة من القاعدة

فان اذا كانت قطعة واحدة من الخشب تحمل بين مسندين ائمالاً مختلفة
صغيرة فان هذه الاثقال تكون مناسبة لتصف قطر انحناء القاعدة في النقطة
المتوسطة من تلك القاعدة ويكون هذا الانحناء مناسباً ايضا لهذه الاثقال
الصغيرة جداً

وبعد تعين نسبة قوة الانحناء المنبهة والقل الحادث منه هذا الانحناء ينبغي
النظر هل مثل هذا القانون يبقى على حاله في صورة ما اذا حمل الجسم ائمالاً كبيرة
جداً اولاً وعليه فما يكون مقدار التغير الذي يمرض لهذا القانون

وقد ذكرنا انواع الخشب الاربعة التي يغلب استعمالها في القنون مع بيان اسمائها
وربما استعمل من البلوط والراتنج ما قطع منذ خمس وعشرين سنة تقريباً
كاخشاب السفينة الروسية المشهورة ميخايل فانها تخربت سنة ١٨١٤ من
الميلاد بعد ان استعملت عشرين سنة

ومع ذلك لم يبق هذه الاخشاب على قوتها الاصلية لكن حيث كان المطلوب
تعين القوانين التي تضبط بها قوة الاخشاب ومرونتها بواسطة نسب عامة
لا علاقة لها بالشدة الحقيقية للالياف التي على صورة الخطوط ولا بانواع
الاشجار واجناسها فان هذه الاخشاب تقي بالمقصود من الاستعمال اكثر من
الاخشاب المقطوعة جديداً وبالجملة فالسرو والزان اللذان مضى عليهما بعد
القطع سنة واحدة يظهر من مرونتهما أن خواصهما دون خواص الاخشاب
التي مضى عليها بعد القطع خمس وعشرون سنة وهذا يتضح ما ذكرناه ويتنظم
في سلك البدييات

هذا وقد صنع اربعة مناشير او متوازيات سطوح طول كل منها متران ونصف

شيء ومقدار ~~سجكها~~ ثلاثه سنترات ووضع كل منشور منها بالتوالي على مسندين ثم وضع على منتصفه حل قدره ٤ كيلوغرامات ثم زيد على هذا الحمل حتى بلغ ٨ ثم ١٢ ثم ١٦ وهكذا الى ٢٨ كيلوغراما وقد ائتمنا في رسالتنا الجداول التي يعلم منها اولاهم القوس الذي تأخذه القواعد وثانيا الفروق الاولى التي تظهر بين هذه السهام

وبالاطلاع على هذه الجداول يعلم أولاً أن ٨ كيلوغرامات يتقوس بها المنشور بقدر تقويسه باربعة كيلوغرامات مرتين فقط ومثل هذا تناسب يحصل بالانضغاطات الصغيرة

وبالاطلاع ايضا على الجداول المتعلقة بسائر اخشاب البلوط والسرو والزان والراتنج يعلم أن الفروق الاولى الحاصلة بين السهام تكون آخذة في الازدياد دائما

وهذه الفروق وان كانت لا تختلف في الواقع عن خلال هين الا انه اذا وجد فيها فرق صغير جدا انعقبه بدون واسطة في الجهة المقابلة لخلل يفوق الاول وحيث ان هذا الخلل لا يزيد عن واحد من عشرة من المليتر فاذا استعملنا اخشابا محكمة الصناعة وعوكلنا في ذلك على الطرق الاخرى التي لم تذكرها ترتب على ذلك نتائج تكون فيها الفروق الثانوية ثابتة او متغيرة قليلا (والمراد بالفروق الثانوية الفروق البسيطة او الفروق الاولى الحاصلة بين جلة اعداد)

وعلى ذلك فيمكن أن نعتبر الفروق الثانوية الحاصلة بين الابعاد كأنها ثابتة اذا كانت الاثقال المحمولة على قطعة واحدة تزداد بفروق اولية ثابتة وهذا القانون السهل مطابق بالكلية للتجربة بحيث اذا صنع من البلوط مثلاً قطعة منتظمة على طبق الحدود المعلومة من التجربة فان ما يحصل من النتائج لا يتفاوت الا بقدر ٤ من عشرة من المتر ويكون الاشياء الكلي المتحصل مساويا ٠ ٦ ٤ من هذه الاعشار وبذلك يسهل بيان هذا الخلل الهين وهو التفاوت المذكور

وعند انحناء المنشور يكون على شكل قوس اطول من وتره فهو عند انحنائه لا بد أن يترحلق كثيرا او قليلا على المسندين وهذان المسندان عبارة عن ضلعين

من الخشب على طولها تتزحلق الالياف الخارجة من التشوير ترحلها غير متواصل بل يكون باندفاع تلك الالياف ووثوبها ووثوبها ظاهرا كثيرا كان او قليلا ولا تنس اننا كالمقيمين يلدت ليس بها شيء مما يخص الفنون حتى الموازين المضبوطة مضبطا كافيا بحيث يتوصل بها في تحرير الشيء وضبطه الى ما فوق واحد من عشرة من الف وسباني أن كل فرق من الفروق الصغيرة النظرية والحسابية لا يتجاوز الحدة المعين لتحرير العمليات وضبطها

ولما اردنا أن نعرف نتيجة معادلات حل كبير جدا يبلغ قدره ٨٠ كيلوغراما ما بالنا النتائج المتحصلة معنا بالنتائج المتحصلة من حل يبلغ قدره ٤ كيلوغرامات فقط فوجدنا بمنااسبة ذلك أن السرو يكون سهم قوسه صغيرا اذا كان الحل كبيرا ومثله البلوط والراعيخ والزان

ومن هنا النتيجة الشهيرة وهي ان هذا الخشب ينقص اكثر من غيره من انواع الخشب التي تكون مقاومة لها المتينة عند الانحناء صغيرة وان كانت المقاومة المتينة لا ي نوع من انواع الخشب قوية جدا في صورة ما اذا كان الحل كبيرا بالكفاية كما أن الفروق الثانوية فيها تكون ايضا كبيرة في هذه الصورة

ومن المعلوم أن الزان في غاية من المرونة فلذا كان الخراط يضع منه قوس مخروطه لانها به تكون منتظمة وكان اعظم الجاذيف والمداري عند البصارة هو ما يتخذ من خشب الزان لانه يتحمل ما يعرض له من الجهود العظيمة والمصادمات السريعة ومنشأ كون الفروق الثانوية عظيمة في الزان هو أن ما يعرض له من الانحناء عند وضع الانتقال عليه لا يمنعه من قبول تأثير المصادمات السريعة ولينه معها ولا يكون به عرضة للكسر

وبعكسه خشب السرو فانه لقله لينه وكونه عرضة للكسر كانت فروقه الثانوية غير محسوسة تقريباً فهي على الثلث من فروق الزان

وقد عينا التناقلات النوعية التي تكون لانواع الاخشاب الاربعة المذكورة في التجارب المتقدمة فكانت في الترتيب كالمقومات التي تعرض عند الانحناء وينتج من ذلك قاعدة مهمة في شأن الاخشاب حاصلها انه اذا كان هناك

سفينتان متعددتان في حجم الخشب لا في نوعه فالمصنوعة من الخشب الثقيل
يكون تقوسها أو الانحناء هادون تقوس السفينة المصنوعة من الخشب الخفيف
لان تقوس السفن يكون على حسب لين خشبها
فأذن يلزم أن يكون تقوس سفن بحر يبلط والفلنك أكثر من تقوس سفن
البحر المتوسط كما دلت على ذلك التجربة

فعلى ما ذكرناه اذا كان هنالك سفينتان متعددتا الخشب ثقلا وقدر الانوعا
فما كان منهما مصنوعا من الخشب الخفيف يكون تقوسها دون تقوس الاخرى
في الانحناء فتكون اشد صلابة منها

والظاهر أن الشير دون جريحي جوان وقف على الحقيقة في هذا المعنى
حيث اراد أن يصنع سفنا من الخشب الخفيف كالخشب الصفيحة لامن
اختساب البلوط

وبالجملة فالجاريب المتقدمة المتعلقة بمواد المقاومة المنبهة يؤخذ منها طرق
حساب النتائج المتشابهة وتخصيلها بدون احتياج الى عمل التجارب ذات
المصاريف التي تحصل في شأن تكسير قطع الخشب وهذه الطريقة تعرف
اوصاف الخشب التي تلائم الاشغال المتنوعة في الفنون على العموم لاسيما في
العمارات البحرية اجود المعرفة وربما كان تعيين ابعاد قطع الخشب من كل
سفينة لاعلى حسب رأى المعمار واختياره بل على حسب ما يقتضيه مزاج
المصلحة ويتوصل بهذه العملية الواضحة الى نتائج اعم ففعلاوا اكثر فائدة

وبعد أن ذكرنا التجارب الكثيرة التي حصلت في شأن قطع الخشب المتحدة
الصورة تكلمنا على القطع المختلفة السمك والعرض فتوصلنا الى هذه النتيجة
الثابتة وهي

ان المقاومة الحاصلة عند الانحناء تكون مناسبة لمكعب السمك وقد بينا
بالقواعد العملية حقيقة هذه التجربة

فأذا اتفقت متوازي سطوح من الخشب فان أليافه الداخلة تقبض وأليافه
الخارجة تنبسط ويبقى بينهما ليف متوسط لا يتغير طوله بل يبقى على حاله

مهما كان انحناء متوازي السطوح

ولاجل اثبات تاثير مد الالياف واتقايها اخترع المهندس دو هاميل تجربة بدعية وهي انه نشر من المنتصف شرا عموديا على اتجاه الالياف ثلاثة ارباع سطح قطعة الخشب ثم ادخل في حز المنشار خابورا رفيعا جدا من خشب اشد صلابة من خشب البلوط فاذا اسندت قطعة الخشب من طرفيها وكانت الواجهة التي بها حز المنشار في الجهة العليا وضعت عليها الاثقال ولكن مع كونه نشر ثلاثة ارباعها فالربع الباقي من الالياف يمكنه المقاومة بسبب ما فيه من اللين وقبول الانثناء بحيث تكون القطعة المذكورة باقية على قوتها الاصلية فان كان حز المنشار غير متوغل وغائر كثيرا كانت القوة كبيرة والافصغرة ومتى تعين بالتجربة الوضع المضبوط ليف الثابت الذي لا يتغير سهل بذلك استنتاج نسبة القوى اللازمة لتحصيل المد والقبض المقروطين في ألياف قطعة واحدة من الخشب واغلب ما وقع في طولون ودونه ~~مكرر~~ من التجارب انما كان الغرض منه البحث عن هذا النوع وعما قليل نشر ذلك ونشره

وبعد ان حصلت التجربة في تحصيل قطع الاخشاب باثقال مجتمعة حصلت ايضا في تحميلها اثقالا موزعة على طولها توزيعا منتظما فوجد ان الاثقال سواء كانت مجتمعة في منتصف قطعة الخشب او موزعة على طولها توزيعا منتظما تكون فيها نسبة الاسهم الى الانخفاضات الى بعضها كنسبة تسعة عشر الى ثلاثين او خمسة الى ثمانية وهذه النسبة تكون واحدة في الاخشاب المنزعة الصنف او المختلفة الابعاد

فاذا ن اذاجعلنا ثقل قطعة منشورية من خشب واحدة فتضعيف خمسة اثمان السهم الذي يكون لها عند اسنادها من طرفيها اسنادا اقويا يحصل السهم الذي يكون لها عند تحميلها ثقالا مساويا لثقلها ~~ال~~ كن بشرط اجتماعه في منتصفها ويؤخذ من هذه القاعدة طريقة سهلة في وزن الاخشاب الثقيلة الطويلة بدون موازين بشرط أن يكون سمكها ثابتا لا يتغير

وبموجب ما ذكرناه لاشئ اسهل من اعتبار ثقل واحد موضوع في منتصف قطعة من خشب كثقل موزع على طولها توزيعا منتظما وعكسه وفوائد ذلك كثيرة في الفنون

وقد عينا الخناء قطع الخشب مع مراعاة ابعاد المساند فكانت النتيجة أن كل قطعتين من الخشب بمكدهما واحد يتنيان كهو سيمهما هما مناسبان لمكعبات ابعاد المساند ولا يحتاج أن كل سهم بين المساند يكون كمكعب السلك المقابل له وبالنضمام هاتين القاعدتين الى هذه القاعدة وهي أن الانحناءات الصغيرة تكون فيها الاسهم مناسبة بالضبط للاجال توصل الى هذه النتيجة الغربية

وهي أن فرض قطعتين من الخشب متشابهتين بمعنى أن بعدهما المتناظرين متناسبان وفرض انهما من جنس واحد فاذا استندناهما من طرفيهما فان سهمي التقوس الذي يحصل لهما بسبب ثقلهما الاصل يكونان مناسبين بالضبط لرباعي طولي هاتين القطعتين وبناء على ذلك مهما كان المقدار الحقيقي للقطعتين المذكورتين فانه يكون لهما في المنتصف نصف قطر واحد من الانحناء ولا تختلف هذه النتيجة في صورة ما اذا وضع على القطعتين اثقال مجتمعة او متوزعة إلا أن هذه الاثقال تكون مناسبة لنفس ثقل هاتين القطعتين

ومثل هذه النتيجة مستعملة غالبا في عمليات اشغال الفنون لان العبارات والالات على اختلاف انواعها متناسبة الاجراء عادة فاذا كان المطلوب المقابلة بين سفينتين متحدتي المادة وكانت ابعاد موادهما مناسبة لابعاد هاتين السفينتين فانه يستنتج من ذلك حيث لا مانع أن تقوس السفينتين يكون له في صورة انحنائهما الاكبر نصف قطر انحناء ثابت مهما بلغ مقدارهما الحقيقي

ثم انه يلزم الا معرفة ما به يكبر تقوس السفن الكبيرة عن الصغيرة في نسبة معلومة بقطع النطر عن جميع الاسباب فتقول ان سهم القوس يزداد كربع الابعاد الاصلية للسفينة فعلى ذلك يكون مقتضى ما اسلفناه في شأن السفينة التي طولها ستون مترا وتقوسها نصف متر أن سهم قوس السفينة الصغيرة المشابهة لها التي طولها متر واحد عوضا عن أن يكون جراً من ستين يكون ثلاثة

آلاف وسدس جزء من مائة من نصف متروهي نسبة بسيطة تتعلق بالأطوال
ولتشرع الآن في بيان تكسير الأخشاب فنقول ليست الأخشاب قابلة
الالتقاط ومذممين بحيث إذا تجاوزت هاتين القوتين وتطعت أو تكسرت
وليس للقوى التي يحصل بها كسر الأخشاب علاقة مطردة بالقوى التي يحصل
بها الانحناء بل تختلف باختلاف أنواع النباتات فقد يحدث عن بعض أنواع
النباتات مقاومة قليلة بالنسبة للانحناء وكثيرة بالنسبة للتكسر وذلك كالقنب
في النباتات الصغيرة وكالزنان والردار والجوز والزانج ونحو ذلك في الأشجار
وقد يكون بعض الأنواع بعكس ذلك فيحدث منها مقاومة كثيرة بالنسبة للانحناء
وقليلة بالنسبة للتكسر وذلك كالسرو والكايلي ونحوهما وبذلك يتحصل درجة
ثانية من الأخشاب وهناك أنواع أخرى تكون مقاومتها كثيرة بالنسبة إلى
الانحناء والتكسر جميعاً كصنوبر جزيرة قرسقة والبلوط الشديد الصلابة
الذي هو أعظم المغروسات بالولايات الفرنسية

وهذه الاختلافات الطبيعية لها أهمية عظيمة في القوانين التي يتعين ما تستعمل
فيه أقسام النباتات المتنوعة عند توفر الشروط اللازمة في ذلك فلا يستعمل
في العمارات الدائمة التي يلزم أن تكون موادها ثابتة لا تتغير وكذلك إجراء
الآلات المعدة لتعمل مجهودات عظيمة الأخشاب النباتات الشديدة الصلابة
ويقدم منها خشب البلوط ثم ما كانت مقاومته للانحناء أكثر كأخشاب الدرجة
الثانية الآن الأولى قصر استعمالها على الأشغال الخفيفة التي الغرض الأصلي
منها الزينة حتى لا تقع عليها مجهودات عظيمة

وأما أخشاب الدرجة الأولى فيذهب قصرها على الأشغال التي يشترط فيها المرونة
وذلك كالعربات على اختلاف أنواعها وآلات الزراعة وصواري السفن
ومجاذيف المراكب الخفيفة وما أشبه ذلك

وإذا اجريت عمليات التجربة والحساب على التوتين اللتين يكونان لأخشاب
النباتات العظيمة عند مقاومة الانحناء والتكسر عرفت خواص الأخشاب حق
المعرفة فاذن يمكن في جميع الأحوال أن تختار من الأنواع ما يكون أتم ملائمة

للاستعمال ولكن ليس هذا الانتساب سهل الحصول كما قد يتوهم اذا كان المؤيد له اعانات عليه هيئة ليست على ما ينبغي

ولتجث عن قوة الخشب عند مقاومت التـكـسير فنقول اذا اخذنا قطعة من

الخشب كقطعة أ ب ش د ف (شكل ١) وثبتها على أ ب ش د ف

(شكل ٢) فان ليف أ ب ش الخارج يمتد وينسط وليف د ه ف الداخل يقبض وينكمش واذا رسمنا عدة مستقيمت كستقيمت ١١ وب ٢ وج ٣

القائمة على واجهة أ ش د ف (شكل ١) فهما كان الانحناء الحاصل لقطعة الخشب فان خطوط ١١ وب ٢ وج ٣ الخ تبقى دائما مستقيمة

وقائمة مع محيط أ ب ش د ه ف (شكل ٢) فاذن ألياف الخشب عند

انثناءها على بعضها لا يترحلق بعضها على طول البعض الآخر مثلا بعض ألياف الخشب المنحصر في مسافة ١٢٢١ (شكل ١) ينحصر ايضا في مسافة

١٢٢١ (شكل ٢)

والالياف الخارجة التي تمتد والالياف الداخلة التي تقبض يفصل بينهما م ن و البنى لا يمتد ولا يقبض فلذا سمى بالليف الثابت

ومد الالياف خارج ليف م ن و الثابت يكون مناسباً لبعدها عن هذا الليف وكذلك اقباض الالياف داخله يكون مناسباً لبعدها عنه

وقد استنبطنا في النبذة السابقة من هذه القواعد الخواص النظرية المتعلقة بمقاومة الأخشاب عند انثناءها او تكسرها

وهناك أخشاب متعددة النوع والقوة متى ثبتت على اى منح كان تكسرت اذا امتدت أليافها الخارجة امتدادا تكون النسبة الحاصلة بينه وبين هذه الالياف

ثابتة

ولنفرض أن قطعة من الخشب منتنية على محيط ما يزيد سمكها او ينقص بشرط أن يكون ليفها الخارج متجهها على اتجاه المحيط حتى تكرر سمك القطعة المذكورة

مرتين او ثلاثا او اربعا الخ فان مد الليف الخارج يتـكـرر ايضا مرتين او ثلاثا

او اربعاً فاذن اذا قص منحني محيط $\overline{ا ب ث}$ بنسبة ازدياد سمك قطعة الخشب المتقدمة فان درجة مد الليف الخارج تكون واحدة دائماً

ومنى ثبتت قطعة خشب كقطعة $\overline{ا ب ث}$ (شكل ٣) مستندة على مسندى

$\overline{ا و ث}$ وواقع عليها تأثير قوة $\overline{ف}$ التي هي على بعد واحد من نقطتي

$\overline{ا و ث}$ فظهر أن نصف قطر انحناء $\overline{ا ب ث}$ في نقطة $\overline{ب}$ التي هي منتصف

هذا المحيط يكون مناسباً لمكعب بعد $\overline{ا ث}$ عن مسندى $\overline{ا و ث}$

وفي الانحناءات الصغيرة جداً يكون $\overline{ر}$ الذي هو نصف قطر انحناء $\overline{ا ب ث}$

مناسباً $\overline{ا ث}$ يجعل $\overline{غ ب}$ عبارة عن سهم $\overline{ا ب ث}$ فاذن يحدث

$$\overline{ر} = \frac{\overline{ا ث}^2}{\overline{غ ب}} = \overline{غ ب} = \frac{\overline{ا ث}^2}{\overline{ر}}$$

وحيث ان قوة $\overline{ف}$ مناسبة $\overline{غ ب}$ فان $\overline{ف}$ تكون مناسبة $\overline{ا ث}$

ولكن حيث ان القوة اللازمة للانحناء تكون على نسبة مطردة من سهم $\overline{غ ب}$

ومنعكسة من مكعب $\overline{ا ث}$ الذي هو بعد المسدين فاذا جعلنا $\overline{د}$ رمزاً الى عدد ثابت حدث

$$\overline{ف} = \overline{د} \frac{\overline{ا ث}^2}{\overline{ر}} \quad \text{و} \quad \overline{ف} \times \overline{ا ث} = \overline{د} \frac{\overline{ا ث}^3}{\overline{ر}}$$

واذا فرضنا قطعة خشب اخرى كقطعة $\overline{ا ب ث}$ (شكل ٤) سمكها كسدين

قطعة $\overline{ا ب ث}$ (شكل ٣) حدث ايضا

$$\overline{ر} = \frac{\overline{ا ث}^2}{\overline{غ ب}} \quad \text{و} \quad \overline{ف} \times \overline{ا ث} = \overline{د} \frac{\overline{ا ث}^3}{\overline{ر}}$$

وحيث كان يلزم أن $\bar{r} = \bar{r}$ في حالة التكسير لزم أن يكون

$$\frac{\text{اث}^{\bar{r}}}{\text{غب}^{\bar{r}}} = \frac{\text{اث}^{\bar{r}}}{\text{غب}^{\bar{r}}} \quad \text{فبناء على ذلك يلزم أن يكون} \quad \text{ث} \times \frac{\text{غب}^{\bar{r}}}{\text{اث}^{\bar{r}}} = \frac{\text{ث} \times \text{غب}^{\bar{r}}}{\text{اث}^{\bar{r}}} = \frac{\text{ث} \times \text{غب}^{\bar{r}}}{\text{اث}^{\bar{r}}}$$

انه اذا ثبتت قطعة من الخشب بين مسندين بعدها متغير حصل التكسير بواسطة تأثير قوة تردد ابتقصان بعد المسندين وبالعكس

واذا التفتنا الى كل من \bar{b} و \bar{a} معا وجعلنا \bar{m} رمزا الى عدد ثابت كان مقدار قوة \bar{f} التي ينشأ عنها الانحناء هو

$$\bar{f} = \bar{m} \times \text{غب}^{\bar{r}} \times \frac{\text{ب}^{\bar{r}}}{\text{اث}^{\bar{r}}} = \bar{m} \times \frac{\text{غب}^{\bar{r}}}{\text{اث}^{\bar{r}}} \times \frac{\text{ب}^{\bar{r}}}{\text{اث}^{\bar{r}}}$$

فاذا بلغت الاخشاب المختلفة السمك الحالة التي يحدث فيها التكسير كان نصف قطر \bar{r} على نسبة مطردة من سمك قطع الخشب فاذن اذا جعلنا \bar{c} عبارة عن عدد ثابت حدث

$$\bar{r} = \bar{c} \times \bar{b}^{\bar{r}} \quad \text{فاذن يكون} \quad \bar{f} = \frac{\bar{r}}{\bar{c}} \times \frac{\text{ب}^{\bar{r}}}{\text{اث}^{\bar{r}}}$$

فاذن اذا كان \bar{a} الذي هو بعد المسندين باقيا على حالة واحدة كانت قوة \bar{f} التي يحدث عنها التكسير مناسبة لمربع السمك

وهذه الخواص عامة في متوازيات السطوح المرنة التي تكسر بمجرد انحنائها انحناء صغيرا جدا والمتوازيات المذكورة اما من الخشب او الحديد او النحاس او الحجارة او نحو ذلك ومن هنا تحدث نتائج مهمة في الصناعة

وعوضا عن أن نستعمل الشواحي والعوارض والاخشاب المربعة على حسب الاصطلاح القديم فجعلها رقيقة جدا اذا كانت اقلية وعريضة جدا اذا كانت رأسية لما في ذلك من مزيد الفائدة

ولنذكر هنا الفرق بين عارضتين موضوعتين بين مسندين متحدتي الطول وحمل
احدهما ١ وعرضها ٩ (شكل ٥) وعرض الاخرى ٣ وسكها ٣
(شكل ٦) فنقول

ان مقاومة العارضة الاخيرة تكون مناسبة لعارضها وهو ٣ مضروبا
في مربعه وهو ٩ فحينئذ يكون $٩ \times ٣ = ٢٧$ هو مقدار مقاومة
هذه العارضة المربعة عند الكسر ويكون مقدار مقاومة العارضة الرقيقة
المساوية للمتقدمة في الحجم عند الكسر $٩ \times ٩ \times ١ = ٨١$
فعلی ذلك تكون العارضة الرقيقة ثلاثة امثال العارضة المربعة في الشدة
والصلابة

واذا كان هناك قطع خشب او حديد او نحوها متفرقة سواء كان المطلوب
استعمالها في عمارة او الآلة وكان الغرض منها مقاومة الثني ثم الكسر في جهة معينة
لزم أن يكون سمكها كبيرا في تلك الجهة بقدر الامكان مع تقليل عرضها
في الجهة العمودية

وهكذا كانت تخشيات فليبيرت دلورم المهندس الشهير وهو اول من صنع
تلك التخشيات واستعملها وكيفية ذلك أن تصف الألواح المتقاطعة الاطراف
بجوار بعضها بواسطة مسامير ذات برعة محققة فبان تمام هذه الألواح الصلبة
يتكون منها تخشيات خفيفة الا انها متينة صلبة تحمل القباب والسقوف
وما اشبه ذلك

فاذا اقتضى الحال مقاومة الثني والكسر في جهتين عموديتين على بعضهما فلا بد
من وجود المتانة والوفر معا وذلك باستعمال قطع اخشاب صورة جانبيها كمصورة
العليب اليوناني (شكل ٧) او كمصورة (شكل ٨) التي بطرفيها
ثنيات بارزة جدا ويكثر استعمال هذه القواعد في صناعة الالات المتخذة من
الخشب والمعادن

واذا فرضنا أن المستعمل قطع مستديرة فان مقاومتها عند الكسر حيث انها
مناسبة للعروض البسيطة ومربعات السمك تكون ايضا مناسبة لتقدير

مضروبا في مربعه اعني في مكعب قطر الاسطوانات غير المجوفة المستديرة التي يقع عليها تأثير الثني ثم الكسر

وفي الاسطوانات المجوفة فرائد عظيمة لكونها تقاوم الكسر مقاومة جيدة وذلك لانتظامها وحسن صورتها وكذلك في المواد الطبيعية ما هو من قبيل هذه الاسطوانات المستعملة في جميع ما تحتاج اليه تلك المواد من المقاومات العظيمة مع صغر موادها جدا وذلك كريش الطيور فانه على صورة اسطوانات مجوفة بالنظر للجزء الشبيه بذراع رافعة صغير الذي يقاوم الاعصاب القوية المعتدة لتحميل الاجنحة واذا طابت خفة الريش بمتانته وجدت خفته قد بلغت الغاية بحيث يضرب بها المثل

وهذه الخاصية توجد ايضا في الاشياء الاصطناعية كالاعمدة المجوفة الملتحذة من حديد الزهر فان لها زيادة على فائدة مقاومتها في سائر الجهات بالسوية فائدة اخرى وهي جمعها بين المتانة والخفة اكثر من الاعمدة غير المجوفة ومن هذا القبيل ايضا مساند اسرة العساكر فانها على غاية من الخفة والمتانة وذلك باتخاذ القوائم والعوارض من النحاس على صورة اسطوانات مجوفة وهناك كثير من هذا القبيل

* (الدرس الخامس عشر) *

* (في بيان اصطدام الاجسام) *

قد سبق ذكر المقاومات غير البينة التي تعرض في كل وقت لتحرك الاجسام المتحاسة المحركة على بعضها ولندكر الان نوعا آخر من المقاومة وهو الذي يحصل عند تلاقى جسمين متحركين على حين غفلة كانا مفصولين عن بعضهما بمسافة حينما اتفق وهو المعروف بالاصطدام او بالالتظام فنقول

ان سائر الاجسام الطبيعية في حال انفرادها اذا وقع عليها تأثير قوة واحدة او عدة قوى فانها تقبل تأثيرها بكيفية واحدة وتكون سرعتها واحدة اذا كانت القوى المحركة لها متساوية وكان مجسمها واحدا

ولكن اذا تلاقى جسمان نشأ عن اصطدامهما حوادث متباينة كل التباين

والاجسام المعروفة بالصلبة هي التي تبقى على صورتها الاصلية عند اصطدامها وكل جسم ثبت له هذه الخاصية اعني عدم تغير صورته عند الاصطدام يسمى جامدا وصلبا واما الاجسام الرخوة فهي التي تتغير صورتها بالاصطدام او يجزأ الضغط

فاذا اريد تفريق اجزاء جسم رخو بواسطة ضغط او اصطدام او قنا عليه تأثير مقاومة كبيرة او صغيرة بخلاف ما اذا اريد تفريق اجزاء جسم مانع فلا يلزم اي قاع تأثير مقاومة ما عليه

وهناك اجسام كالهواء والحقوى والغازات على اختلاف انواعها تحتاج الى ضغط دائم حتى لا تدفع اجزاؤها المتنوعة بعضها بعضا ولا تباعد عن بعضها بكمية لا تعرف حدودها الى الآن

ولنبده بالنوع الاول من الاجسام وهي الصلبة فنقول من الاجسام الجامدة ما لا يلحقه ادنى تغير في صورته ولو وقيا وهذه هي الاجسام التي يصح أن نسمي بالاجسام التامة الصلبة ومنها ما يلحقه بعض تغير وقتي يزول بعد الاصطدام وهي المعروفة بالاجسام التامة المرونة ومنها ما يتغير جزء من صورته بالاصطدام او الضغط وهي المعروفة بالاجسام الرخوة او غير تامة المرونة

ولاجل زيادة التوضيح نفرض أن جسمين بجسمي أ و ب (شكرا ١) يتحركان على مستقيم غ غ المار بنقطتي غ غ و غ غ اللتين هما مركزا ثقل هذين الجسمين وأن نقطة تماسهما هي ث تكون عند الاصطدام على مستقيم غ غ

فاذا حصل الاصطدام وكانت القوتان الدافعتان للجسمين مؤثرتين على مستقيم غ غ المذكور فان محصلتهما تكون مساوية لمجموعهما والفاضل هما على حسب اتجاههما الى جهة واحدة او الى جهتين متضادتين

واذا كان مجسم الجسمين واحدا وكانا مدفوعين بسرعتين متساويتين ومتضادتين كانا متوازنين لانه حيث كانت القوتان المحركتان متساويتين في الجهتين كان فاضلهما صفر

واما اذا اختلف الجسمان في الجسم او السرعة فانه من حيث ان وحدة القوة تدل عليها المسافة التي تقطعها وحدة الجسم بواسطة هذه القوة في مدة وحدة الزمن يكون العدد الكلي الدال على قوة احد الجسمين المحركة هو عند آحاد مجسم الجسم مضروبا في عدد آحاد المسافة التي يقطعها الجسم مدة وحدة الزمن

مثلا اذا فرضنا أن وحدة القوة هي الوحدة التي تنقل كيلو غراما واحدا الى مسافة متر واحد مدة ثانية واحدة تظهر لنا فوراً أن القوة التي تنقل في مثل هذا الزمن عشرة كيلو غرامات الى مسافة متر واحد أو كيلو غراما واحدا الى مسافة عشرة امتار تكون اكبر من المتقدمة بعشر مرات ويظهر لنا ايضا أن القوة التي تنقل في الزمن المزدك عشرة كيلو غرامات الى مسافة عشرة امتار تكون اكبر من القوة المزدكورة بمائة مرة وهلم جرا

واذا قدرنا بهذه المثابة القوة المؤثرة في الاجسام المتحركة تحركا منتظما بواسطة افعالها مضروبة في المسافة التي تقطع في مدة وحدة الزمن اعني بواسطة افعالها مضروبة في سرعتها فنحصل معنا ما يعرف بكمية تحرك الاجسام

فاذا جعلنا $م$ و $م$ رمزين للجسمي $خ$ و $غ$ و $ق$ و $ن$ رمزين للسرعتين الدافعتين لهما فنحصل معنا كميتا تحركهما وهما $م ق$ و $م ن$ اعني القوتين الدافعتين لهما ولنجعل $خ$ كناية عن $م ق$ و $غ$ كناية عن $م ن$

ومنى تحرك الجسمين في جهتين متضادتين كان فاضل القوتين المحركتين وهو

$م ق - م ن$ هو القوة المحصلة المحركة للجسم $م + م$ وحيث ان هذه القوة مساوية للجسم مضروبا في السرعة فالسرعة تساوي القوة مقسومة على الجسم فاذن تكون السرعة التي يتحرك بها الجسمان هي

$$\frac{م ق - م ن}{م + م} = \frac{خ - غ}{م + م}$$

وفي الاصطدام الذي اختبرنا تأثيره تكون كمية التحرك الكلية قبل الاصطدام هي
 $مق + م$ ولا تكون بعده الا $مق - م$ فان تكون كمية
 التحرك التي اعدمها الاصطدام مساوية $٢ م$

فعلى ذلك اذا تصادم جسمان متجهان الى جهتين متقابلتين ولم يكونا مرين
 فان تعينت كمية تحرك كل منهما كانت كمية التحرك التي اعدمها الاصطدام
 مساوية لتضع اصغر الكيتين المذكورتين

فاذا اريد حيثئذ أن لا تنعدم قوة ما في تحرك الآلات لم أن لا يكون هناك
 اصطدام بالكليّة بين الاجزاء المتنوعة من هذه الآلات المتحركة في جهات
 متقابلة وهذه قاعدة مطردة ينبغي العمل بها في صناعة الآلات وتحركها
 فان كل وثبة او تحرك سريع ينشأ عنه ضرران احدهما تقبص كمية التحرك
 دائما وثانيهما تغيير صلابة الآلة وممتتها

واذا تحرك الجسمان في جهة واحدة فان القوة المحصلة المحركة للجسم $م + م$
 تكون في مئة الاصطدام $مق + م$ وتكون السرعة التي يتحرك بها
 هذان الجسمان هي

$$\frac{مق + م}{م + م} = \frac{خ + غ}{م + م}$$

ولنوضح كيفية تقدير توزيع القوى في اصطدام الاجسام الجامدة بهذه العملية
 فنفرض أن الجسم غ مجسم قدره ٣ كيلوغرامات والجسم غ مجسما
 قدره كيلوغرام واحد ونفرض ايضا أن غ يقطع مسافة مترين في مئة
 ثانية واحدة وأن غ لا يقطع في هذه الثانية الا مسافة مترو واحد فتكون كمية
 تحرك جسم غ هي $مق = ٣ \times ٢ = ٦$ وكمية تحرك جسم
 غ هي $م = ١ \times ١ = ١$

فاذا تقرّر هذا وتحرك الجسمان في جهتين متضادتين حدث $مق - م$
 $٦ = ١ - ١ = ٠$ و $٢ = ٣ + ١ = ٤$

فأذن تكون السرعة المشتركة بين الجسمين بعد اصطدامهما $\frac{5}{4}$ اعني أن كلا من الجسمين يقطع $\frac{5}{4}$ من المتر في الثانية الواحدة بعد الاصطدام فإذا كان الجسم الصغير له سرعة يقطع بها مسافة ٦ استار في الثانية الواحدة فإنه يحصل $m = 1 \times 6 = 6$ فأذن تكون $m = 6$ و $m = 0$ وبناء على ذلك يحصل التوازن

فإذا اريد اعدام تحرك لجسم دفعة واحدة كان لذلك ثلاثة وجوه الاول أن يدفع عليه جسم مساو له في الجسم ويكون سيره اليه بسرعة كسرعته والثاني أن يدفع عليه جسم اخف منه لكن تكون سرعته اعظم من سرعته والثالث أن يدفع عليه جسم اقل منه لكن تكون سرعته ابطأ من سرعته

وفي اشغال الفنون دأب المهندسون على انواع التوازن المختلفة التي تحصل من تأثير الاصطدام بواسطة خشبة او قضيب او مطرقة او عصي ثقيلة قليلا او كثيرا على حسب مجسم الجاد او الحيوان الذي يدفع على النوع الثاني ويمكن باستعمال سرعة عظيمة اضعاف حركة الحيوان او الجاد وتأخير او سقوطه كما هو الغالب فن ثم نرى الصبيان الذين يسرعون العدو والجرى يسقط باصطدامهم من هوا كبروا ثقل منهم بكثير كالرجال اذا كانوا يمشون الهوينا ومن هذه القبيل ايضا العربات الخفيفة التي يكون اندفاعها بسرعة عظيمة فانها عند الاصطدام تقلب العربة التي تكون اقل منها اذا كان سيرها هينا

ويستنتج من قوانين اصطدام الاجسام نتائج مهمة تتعلق بالفنون الحربية اقتصرنا في بيانها هنا على فن واحد من تلك الفنون حاصله

(انه عند اصطدام جيوش الخيالة في الحرب تكون الكاثبات ذات صف او صفين ثم ترتفع بسرعة تتزايد بالتدريج حتى تصادم ما يقابلها من الكاثبات خيالة كانت او قزابة والغرض هنا معرفة ما يحصل حينئذ بما يخص هذا الموضوع فنقول

ان الجهة التي تكون فيها كمية تحرك الكتيبة اعني مجموع ثقل الخيول وعددها والخيالة والاسلحة مضروبا في السرعة عظيمة تظهر بالضرورة على غيرها

وتتغير بها وتكون كمية التحرك التي تفضل بها الكتيبة الصادمة على الكتيبة
المصدومة مساويا لتفاضل كميتي تحركهما مقسوما على مجموع الكتيتين
ولنفرض أن الكتيبة المهجوم عليها ثبت محلها أو عثى الهوي ناحتي تصادمها
الكتيبة الهاجمة فثبت أن كمية تحرك الكتيبة المهجوم عليها تساوي الكتيبة
مضروبة في سرعة تساوي صفرا فإن هذه الكمية تصبح معدومة فلا تكون
موازنة لكمية تحرك الكتيبة الهاجمة

وقد دلت التجربة على أن الجيوش الخيالة المؤلفة من خيول ورجال شداد ثقال
لا يمكنها أن تصبر وتثبت لمصادمة جيوش خيالة أخرى أخف منها لكن إذا كانت
سرعتها متوسطة فإنها ربما توازنت مع الجيوش الخفيفة أو قلبت خيولها
ورجالها الخفاف المتدفعين عليها بسرعة عظيمة ثم إن الفرض الأصلي من هجوم
الخيالة هو تحصيل أعظم درجة من السرعة عند المصادمة ولاجل معرفة الكيفية
التي يتوصل بها إلى ذلك قول

إن حصول التحركات في وقت الاصطدام لا يتعلق إلا بالكتيبة والسرعة في هذا
الوقت فيمكن أن تكون هذه السرعة باقية على حالها عند الاصطدام ولو بلغت
قبل ذلك ما بلغت ليكون التأثير واحدا وإذا كان المطلوب مثلا تلطف تحرك
جسم ثقيل وقع من ث إلى ح (شكل ٢) بسرعة مجزلة فلا يختلف

عند وصوله إلى ح إلى ما كان له من السرعة في ح و ع و خ الخ
إذا كانت كمية تحركه واحدة في ح المذكورة أعني إذا كان متحركا على
الدوام بسرعه الأصلية ولم يأخذ في بدء تحركه سرعة هيئة تزداد بالتدريج
فأذن تكون مصادمة الشامردان للناور واحدة إذا كانت سرعته واحدة دائما
في وقت الاصطدام

فلي ذلك يوجد في الاصطدام وفر عظيم في القوى إذا كان التحرك في مبدء الامر
بطيا بالتدريج وكانت السرعة تزداد بالتدريج بحيث لا تبلغ نهايتها الكبرى
إلا في وقت الاصطدام

ولندكر لك وفر القوى الذي يحدث في مصادمات الخيالة فنقول إن أعظم جزء

من المسافة المطاوب قطعها قبل الاصطدام يكون قطعه بالهوى ساطوة خطوة
والجزء الثاني يقطع بالهرولة والثالث بالجيب والرابع وهو الاخير بالرخص
والعدو بحيث لا تقطع فيه حركة الخيل وتكون كلهما في التحرك بجسم واحد
فاذن يكون الاصطدام في الحقيقة واحدا كالمكان الخيول من مبدء الرخص
السرعة التي اكتسبتها اخيرا لكن لا يمكنها أن تقطع مسافة عظيمة بمثل هذه
السرعة لان ذلك يؤدي الى قنورها وانعدام قوتها من غير أن تصد فيا قوة
اخرى

ويظهر أن تطبيق قواعد اصطدام الاجسام على حركات الخيالة في غاية من
الوضوح والظاهر ايضا انه يمكن ضبطها على اسهل وجه ومع ذلك فلم تكشف
ويوقف على حقيقة الابعاد مضى عدة قرون
وذلك أن الامة الرومانية مكثت في الحرب ثلثمائة سنة وهي لا تعرف تأثير سرعة
الخيول في قوة المصادمات الواقعة من الخيالة بخلاف خيالة النوميديّة الخفيفة
فانها علمت بهذه القواعد قطرفت بخيالة الرومان الثقيلة في جميع مصادماتها
وايضالما كانت قلّة سرعة الخيالة الرومانية تمنعهم عما لا بد لهم منه كان امراء
الرومان الشوالية ينهزون الفرسة وينزلون على الارض ويقاثلون بجميع كية
التحريك تصدم من الابطال وغول الرجال الذين لا يلحقهم التعب من المشي
ولامن الجري

وقد مكثت قواعد اصطدام الاجسام المطبقة على حركات الخيالة وعلى نصرات
فريدريك التي حازها بحسن مراعاته لهذه القواعد مجهولة عند المتأخرين
الى القرن الاخير من تاريخ ذلك العصر
وتجري هذه القواعد ايضا في حروب القزابة وسائر الجيوش على اختلافها
لا سيما في الحروب التي تكون فيها الكاثب عظيمة وليس هذا محل بسط الكلام
على هذه القواعد فانها مما يخص المدارس العسكرية دون غيرها
هذا وقد اعتبرنا فيما سبق الى هنا الاجسام المتصادمة كأنها قطع مادية ولنعتبر
الآن امتدادها وصورتها حتى نتضح لنا احوال توازنها وتحركها فنقول

اذا فرضنا أن جسي $\overline{م}$ و $\overline{م}$ (شكل ٣) يتحركان في جهة واحدة
 اوجهتين متقابلتين على اتجاه مستقيم $\overline{غ}$ الواصل بين مركزي الثقل ثم فرضنا
 أن سطحي هذين الجسمين عمودان في تقاطع $\overline{ش}$ و $\overline{ش}$ على مستقيم $\overline{غ}$ المذكور
 فإن القوة التي يتصادم بها جسم $\overline{م}$ مع جسم $\overline{م}$ تنعدم بواسطة سطح $\overline{م}$
 وكذلك القوة التي يتصادم بها جسم $\overline{م}$ مع جسم $\overline{م}$ فانها تنعدم ايضا
 بواسطة $\overline{م}$ هذا اذا كانتا كية تحرك الجسمين واحدة

ولنفرض الآن (شكل ٤) أن سطحي الجسمين مائلان بالنسبة لمستقيم
 $\overline{غ}$ الا انهما متوازيان في $\overline{ش}$ و $\overline{ش}$ الموضوعتين على مستقيم $\overline{غ}$
 الواصل بين مركزي ثقل جسي $\overline{م}$ و $\overline{م}$

وهذان الجسمان يتماسان عند الاصطدام (شكل ٥) وليكن $\overline{ا}$
 و $\overline{ا}$ ومزني الى جهة مستقيم $\overline{غ}$ الدال على كيتي التحرك
 الدافعتين لجسي $\overline{م}$ و $\overline{م}$ ولتد $\overline{ب}$ و $\overline{ب}$ عمودا على الاتجاه المشترك
 بين جسي $\overline{م}$ و $\overline{م}$ في $\overline{ث}$ ثم تد $\overline{ا}$ و $\overline{ا}$ عمودين على
 $\overline{ب}$ و $\overline{ب}$

فاذا حصل الاصطدام تحرك اولا جسما $\overline{م}$ و $\overline{م}$ تحركا مستقيما
 في جهة $\overline{غ}$ بسرعة مشتركة مقدارها $\frac{\overline{ا} + \overline{ا}}{\overline{م} + \overline{م}}$
 وثانيا يدور $\overline{م}$ و $\overline{م}$ حول مركزي ثقلهما بسرعة مساوية بالتناظر
 $\overline{ش}$ و $\overline{ش}$ و $\overline{ش}$ و $\overline{ش}$ ومقسومة على مقدار
 اينري $\overline{م}$ و $\overline{م}$

ويؤخذ من هنا أن الجسمين يتصلان عن بعضهما بعد الاصطدام في صورة
 ما اذا لم يكن سطحهما عمودا على المستقيم المنتهين مركزي ثقلهما
 وهناك صورة اصعب من ذلك وهي صورة (شكل ٦) لا تكون فيها نقطة

تمام الجسمين عند الاصطدام موجودة على المستقيم الواصل بين مركزي ثقل
غروغ

ولما انهيينا الكلام على احوال الاصطدام في صورة ما اذا كان الجسمان متجهين
على مستقيم واحد مناسب أن نتكلم عليه في صورة ما اذا كانا متجهين على خطين
بينهما زاوية ما ويتلاقيان في نقطة ١ (شكل ٧) فنقول لتكن ح و خ
هما القوتان الدالتان على كيتي التحرك الدافعتين الجسمين فاذا رسمنا متوازي
الاضلاع وهو آب دث الذي ضلعا و هـ اب و اث مناسبان
لقوتى ح و خ كان وتره وهو اد دالا على كية التحرك الدافعة
الجسمين المتلاقين في نقطة ١ وعلى الاتجاه المشترك الذي يتبعه هذان
الجسمان بعد الاصطدام اذ امكن ان يكونا مرتين فانه اذا جعلنا م و م وحزوين

لجسمي الجسمين فان سرعتهما بعد الاصطدام تعلم من $\frac{اد}{مق + م٢}$ و اد

هو عبارة عن كية التحرك

وتكون قوانين توصيل التحرك واحدة اذا كان كل من الجسمين يتحرك على منحن
متواصل عوضا عن تحركهما على مستقيم واحد لانهما يقطعان في الزمن القليل
الذي يعقب الاصطدام مسافة تنطبق على مستقيم صغير مناسب للمحني في النقطة
التي يحصل فيها الاصطدام

فعلى ذلك اذا اخذنا مثلاً بندولين بسيطين ك كبندولى ح و خ
(شكل ٨) متحدين في الطول فهما كان مجسما هذين البندولين فان قوانين
الاصطدام تصير عين القوانين التي توجد في صورة ما اذا كانا يتصادمان معا
في الوضع الذي يكون فيه كل من خيطيهما رأسيا لان جسمي ح و خ
يصلان الى هذا الوضع يكون احدهما يقطع خ ح والاخر يقطع خ ح

المماسين في ح و ح لمستقيم ط ط
فاذا رفعنا حيث نزل الى ارتفاع واحد من خ و خ مجسما ح و خ

التساويين فانهم لا يفرقان في زمن واحد بسرعة واحدة الى وضعي ح و ع
 فينصا دمان فيهما لكن حيث ان الجسمين المضروبين في سرعتيهما متساويان
 هنا من الجهتين فان التوازن حيث يكون حاصل ولا يتحرك الجسمان بعد
 الاصطدام

فاذا كان احدا الجسمين كبيرا حصل التحرك في جهته على حسب القانون المعالوم

$$\text{من معادلة } \frac{م ق - م - م}{م + م}$$

ولنعتبر الآن اصطدام جسم يتحرك فخر كما مستقيما مع جسم يتحرك وهو دائر
 على نفسه فتقول

لنفرض أن جسما بجسم م (شكل ٩) مركز ثقله غ يدور حول
 محور ث المين بنقطة ث وقد ابتنا في الدرس السابغ من هذا الجزء
 انه يوجد على امتداد مستقيم ث غ نقطة كنقطة ث فهذا يمكن
 أن نفرض دائما أن مجسم جسم م يكون محصورا بتمامه في نقطة ث
 ويكون زيادة على ذلك مدفوعا بساير كمية التحرك التي تكون للجسم بدون تغير
 سرعة هذا الجسم المتزوية ولنفرض ايضا أن جسم م يعارضه عنك فخر
 مانع مثل م وانه في نقطة أ التي يعرض فيها هذا المانع للجسم يكون سطح
 المانع و سطح الجسم عمودين على خط ث أ العمودي على ث ث فينعدم
 جميع تحرك الجسم بسبب هذا المانع الثابت بالفرض فاذا بقي الجسم ساكنا
 بواسطة تأثير الاتظام وعند الاصطدام لا يكون محور ث ثابتا ونعرف
 نقطة ث المذكورة بمركز الاتظام

فاذا كان المانع الثابت المدلول على مقاومته يعرف ف على وجه بحيث
 يكون بعد ث أكبر من ث (شكل ١٠) او اصغر منه (شكل ١١)
 فان محور الدوران تعرض للمقاومة من تأثير الاصطدام

وجسم م الواقع عليه تأثير قوى ف و ف يكاد يشق أو ينكسر
بين ث و د (شكل ١٠) وكذلك بين ث و ث (شكل ١١)
فيصنث بموجب توازن القوى المتوازية

$$\overline{ف} \times \overline{ث} = \overline{ف} \times \overline{ث}$$

وزيادة على ذلك يكون تأثير ف الحاصل من المحور بواسطة الاصطدام
مساويا ف - ف (شكل ١٠) و ف - ف (شكل ١١)

وحينئذ فكما كان الاصطدام حاصل على مستقيم اف ولم يكن على
بعدمن ث = ث عرض لمحور ث الثابت مقاومة من الاصطدام
فإذا كان ثد (شكل ١٠) اصغر من ثد دفعت مقاومة
الاصطدام المحور الثابت الى جهة مضادة لجهة دوران جسم م وإذا كان
ثد اصغر من ثد دفعت مقاومة الاصطدام المحور الثابت الى جهة
دوران جسم م وهذه النتائج تستعمل بدون واسطة في اشغال الفنون

فستعمل غالبا المطارق والمقاع التي تتحرك تحرك دوران لاجل تحصيل
الاصطدامات ولكيلا يعرض لمحور المطرقة وهو ث (شكل ١٢)
مقاومة ما عند الاصطدام يلزم استيفاء جميع الشروط الموجودة في شكل ٩
فعلى ذلك اذا كان م هو الجسم الموضوع على السندال و ا هي النقطة التي
يقع عليها دق المطرقة كان مستقيم اف العمودى في نقطة ا على سطح
المطرقة مارا بنقطة ث التي هي مركز الاتظام وكان مستقيم ث
عمودا على اث

فإذا سرت الصانع المطرقة بيده (شكل ١٣) فان لم تكن جميع الشروط المذكورة
مستوفاة عرض للبد مقاومة مؤلمة وتكون تلك اليد مدفوعة الى جهة مضادة
لجهتها او مضغوطة في جهة التحرك الحاصل له على حسب قرب النقطة التي يقع
ذيها الاصطدام قريبا قليلا او كثيرا وبعدها كذلك عن محور دوران المطرقة

ثم ان الاصطدام المستقيم لجسم يستعمل في تحريك بندول يرتج حول محور
ومثل هذا التأثير يقع في التجارب بالحاصلة في شأن البندولات الطوبجية
فلنفرض كتلة m تتجسم من الخشب ككتلة m (شكل ١٤) محاطة بروابط
من حديد ومعلقة في محور θ بقضبان من حديد ايضا

ونطلق رصاصة او كتلة كتلة m في بندول m ولا بد أن نغذفها بحيث
تكون على اتجاه المستقيم المار بنقطة θ التي هي مركز الاتظام فإذا وفتنا
بذلك لم يمرض لها مقاومة ماعلى محور الدوران وهو θ وتكون سرعة
البندول المتزوية مساوية $m \times \theta$ ومقسومة على مقدار اينرسي
البندول الذي تدخل فيه الرصاصة

فإذا علمت مقدار اينرسي البندول ومحسبى m و θ وبعد θ علمت
بواسطة عملية سهلة سرعة كل من هذين الجسمين عند الاصطدام وهذه هي
الكيفية المستعملة في قياس سرعة المحذوفات قياسا صحيحا ولهذا التماس
اهمية عظيمة في قنون الطوبجية

وقد تقدم أن القوى تنعدم كلما كان تأثيرها واقعاً في جهات متقابلة فإذا كان
المطلوب أن القوى لا تنعدم كما هو الواقع في أغلب الآلات لم أن تجتنب
في هذه الآلات حسب الامكان الاصطدامات الناشئة من التعرضات
في جهات متضادة

ويلزم لذلك ايضا اجتناب الاحتكاكات التي عوضا عن أن تكون متواصلة
وغير ظاهرة تكون حاصلة بواسطة رجات ووثبات ومقاومات ينشأ عنها دائما
بعض اصطدامات مضرّة وحيث ان هذه الاصطدامات لها دوى رقرقة
ويتصل بها ما تلاقه علم من ذلك أن اجود الآلات هو ما يكون تحرّكه صادرا
مع الاتظام واللفظ بدون رقرقة ولا اضطراب

ومن اهم الاشياء ما يستعمل من الاحتراسات في اجتناب مثل هذه
الاصطدامات في الطارات المضترمة

فنفرض (شكل ١٥) أن ضرس د من طارة و يثقل في وقت دفعه ل ضرس و من طارة و قبل أن يصل ضرس د إلى ضرس و من الترس الصغير فلا يجد هذا الترس حيثئذ ما يعارضه فاذا وقع عليه تأثير قوة تحرك تحركا تهفريا حتى يتلاقى و مع د فاذن يحصل الاصطدام في جهتين متضادتين ويعقب ذلك انعدام كمية التحرك ويلزم بمقتضى القاعدة المطردة أن يصل ضرس د إلى و قبل اتصال ضرس د و و عن بعضهما

ولنذكر لك هنا الملاحظات التي لاحظناها في شأن الاصطدامات الصغيرة الحادثة من تحرك السفن حيث أنها تجري في سائر أنواع الآلات فنقول أنه بموجب ما سبق إذا كانت السفينة مستقرة عرض بلزها الاسفل انكماش واقباض وبلزها الاعلى انبساط وامتداد وحدث عن هذين التغيرين أولا امتداد الياق الخشب وانكماشها وثانيا تلف قطع الاخشاب المتلاصقة وانصالها عن بعضها وثالثا انثناء المسامير المسكة لها او تكسرها وكلما تزايدت مقادير القوى المغيرة تزايدت تأثيراتها ايضا غير أنها فيما بعد لا تناقص نسبة واحدة عند تناقص هذه المقادير لان التغير المذكور انما يقع في الاجسام غير تامة المرونة

فعلى ذلك اذا تناقص تقوس السفينة اعتدلت المسامير واستقامت قليلا وقطع الاخشاب التي اتصلت عن بعضها لا اتصل ثانيا الا من بعض اجزائها وكذلك الالياق الممتدة فانها تنكمش انكماشاً كافياً والالياق المنكمشة لا تعود الى طولها الاصلي بالكلية

فاذن لا يوجد عظيم اتحاد بين مواد السفينة ومثل هذا العيب يؤثر في اخشاب السفن تأثيرا شديدا

واختلال هذه المواد لا يمنع من أن كل جزء منها يتحرك بدون معارض قليلا او كثيرا على حسب الاجراء التي كانت مجمعة معه في الاصل قبل الاختلال ويطلق على مجموع هذه التمركات الصغيرة اسم تحرك الاخشاب

واذا فرضنا أن القوى المغيرة مؤثرة في سفينة جميع اجزائها متحركة فان اول تأثيرها يكون عبارة عن تحويل مواد تلك السفينة عن اوضاعها بحسب ما تأخذ من الاتجاهات بواسطة تحركها ولا يعارض تحويل تلك المواد المقاومة لثربها والى هنالم ينقص شئ من كمية القوى النشطة المدافعة للسفينة بنماها وانما يعرض لكل جزء عند تحوله عن وضعه بدون معارض على الوجه المذكور سرعة فاذا حصل له مقاومة شديدة من بقية الاجزاء أحدثت عن هذه السرعة اصطدام

فعلى ذلك لا يكتفى انضغط الهين في كون اجزاء السفينة تؤثر على بعضها بحيث تمتد وتكس وبالا اصطدام تزيد شدة القوة الاضطرابية زيادة بالغة وبذلك تبقى القوى المغيرة على حالها ويزداد تحرك قطع الخشب على الدوام وينشأ دائما عن ذلك تأثيرات تصير بالتدريج خطيرة مفسدة

ثم ان ما ذكرناه من الاصطدامات هوائى بالضرورة عن السرعة الغير البديهة في صورة التغيرات البطيئة الواقعة في رسق السفينة وتكون شديدة سريعة في صورة ما يحدث عن القوى الطبيعية من الاضطراب

ولا يلزم أن نطبق على صناعة السفن ما يمكن تطبيقه على تشييد عمارة في الارض لا يضم فيها تأثير القوة المغيرة الى تأثير قوة سائل المواد وانما يلزم اعتبار السفينة في حالة سيرها على البحر المضطرب كثيرا او قليلا او في حالة اضطرابها بالرياح القوية كثيرا او قليلا النابتة كثيرا او قليلا والدافعة كثيرا او قليلا

فيعلم من ذلك أن مقادير القوى التي يحدث عنها تقوس السفينة تتغير في كل وقت حتى انها عند المقدم والمؤخر تكون بالعاقب موجبة وسالبة فيلزم اذن أن نعتبر السفينة المضطربة بالبحر والرياح كعبدان لا يزال عند عومه على وجه البحر المتعوج ينحني وينثني في المستوى الرأسى من طريقه ويسير الى جهة الامام فيحدث عن سيره تلك المثابة خط منعوج

ثم ان قوانين اصطدام الاجسام الصلبة المجردة عن المرونة هي قوانين الاجسام الرخوة وما يعرض من التغير للاجزاء المتنوعة من هذه الاجسام لا يعبر شيئا

من المتحرك في وقت الاصطدام وليس الامر كذلك في اصطدام الاجسام المرنة
فاذا تقابل جسمان على غاية من المرونة وكا نامتدين مجسما وسرعة فوضا عن
كونهما يتوازنان ويلازمان السكون بعدم كل منهما قوة الاخر ويجعل اليه
جميع ماله من القوة الخاصة به فعلى ذلك يتقهقر كل منهما في طريقه بما كان له
من السرعة قبل الاصطدام ولا تغيرية تحركه وهذه الخاصة للاجسام المرنة
المتحدة في الجسم والسرعة لا تغير بتغير المجسمات والسرع بحيث يبقى مجموع
كميات التحرك على حالة واحدة قبل الاصطدام وبعده

ولذلك هنا بعض تطبيقات على هذه القاعدة فنقول لنفرض أن جسم A
الساكن (شكل ١٦) يصدمه جسم B المتحد معه في الجسم وهو
م وفي السرعة وهي C فتكون كمية التحرك صفرا بالنسبة الى جسم A
و C بالنسبة الى جسم B فحينئذ تكون الكمية المذكورة بالنسبة
للجسمين هي C فاذن يوصل جسم B الى جسم A ساكنية
التحرك وهي C غير أن جسم A لا يمكنه أن يوصل الى جسم B
الا كمية تحرك تساوي صفرا اعني معلومة فاذن يعدم جسم B كمية تحركه
جماها فيبقى ساكنا وما لجسم A الذي اخذ جميع كمية تحرك جسم B
واستخدمه في الجسم فانه يتحرك بالسرعة التي كان يتحرك بها جسم B
ونفرض الآن أن هناك (شكل ١٧) ثلاثة اجسام مرنة ومتحدة الجسم
كاجسام A و B و C وليكن جسم C هو المتحرك دون
غيره فبصادمة هذا الجسم لجسم B يوصل اليه جميع كمية تحركه ويبقى
ساكنا وكذلك بصادمة جسم B لجسم A يوصل اليه جميع كمية تحركه
 ويبقى ساكنا فاذن يتحرك جسم A دون غيرهما بكمية التحرك التي كان
يتحرك بها جسم C

ويحصل مثل هذه النتيجة في صورة ما اذا كان هناك اربعة اجسام او خمسة الخ
متساوية وكان الاخير منها هو المتحرك دون غيره فالاجسام المتوسطة تبقى بعد

الاصطدام ساكنة دائماً كالجسم الاخير بخلاف الجسم الاول فانه يتحرك ويسير
الى الامام بجميع كمية التحرك التي تكن يتحرك بها الجسم الاخير
وتتضح هذه الحقيقة الميكانيكية بواسطة كسر من العاج مثل \overline{A} و \overline{B}
و \overline{C} (شكل ١٨) تعلق بخيوط على صورة بندولات
فاذا ابعدت \overline{A} اولاً كرتين احدهما عن يمين الخط الرأسى الممتد من نقطة
التعليق والاخرى عن شماله وخليا ونفسهما للوقوع في زمن واحد فانما يصلان
الى الخط الرأسى في زمن واحد بسرعة واحدة ثم يتقهقران في طريقهما
بالسرعة المذكورة

فاذا كان العاج تام المرونة ولعب به في الفراغ فان الاكرت تصعد بالضبط الى ارتفاع
مبدئيهما فاذا وقعت كلهما من هذا الارتفاع في زمن واحد فانها تصادم ايضا
بسرعة واحدة ويحدث من ذلك التحرك الدائى غير أن العاج ليس من الاجسام
التامة المرونة لانه لا يوجد في الاجسام الطبيعية ما هو بهذه المثابة فاذا تصعد
الاكرت عقب كل اصطدام شيئاً الى اعلى ثم تنعدم عقب حصول عدة رجاءات
كميات تحرك تلك الاكرا بالكلية

واذا علقت ثانياً ثلاث اكرا من العاج وكانت ثمانية لبعضها بالطبع ورفعت الكرة
الاولى وهى \overline{A} الى \overline{C} (شكل ١٨) ثم خليت ونفسها للوقوع فان الكرة
المتوسطة وهى \overline{B} تبقى في هذا الوقت ساكنة وتصعد الكرة الاخيرة وهى
 \overline{C} الى \overline{A} في ارتفاع نقطة \overline{C} ثم تقع ثانياً وتوصل تحركها بواسطة
كرة \overline{B} الى كرة \overline{A} فتصعد الى \overline{C} ثم تهبط كالكرة الاولى وهلم جرا
ويتحصل مثل هذه النتيجة في صورة ما اذا كان هنالك اربع اكرا ونفس اوست
او اى عدد كان من الاكرا

ولا تقتصر هنا على ذكر الاصطدام المستقيم في الاجسام بل نذكر ايضا قوانين
اصطدامها المتحرك مقتصرين في ذلك على فرض أن احد الجسمين ثابت
ومستووالاخر كروى روما للاختصار حسب الامكان فنقول

انه في الوقت الذى يتلاقى فيه في نقطة \overline{C} كرة \overline{A} (شكل ١٩)

المدفوعة بقوة أو المنصرفة مع المستوى الثابت تدور هذه الكرة حول نقطة θ بقوة تساوي أو \times ش θ الذي هو خط عمودي على θ و θ وترسم مستطيل θ θ الذي ضلعاها θ و θ موازيان لمستوى θ من وضلعاها الاخران وهما θ و θ عمودان على هذا المستوى

فحين ان قوة أو تصل الى θ و θ اذا كانت الكرة والمستوى جسمين مجزئين عن المرونة لم يبق معناذين الا θ واما قوة θ التي هي عبارة عن ضغط الكرة على المستوى الثابت فيعدها هذا المستوى

وبواسطة الاحتكاك الحاصل لمستوى θ من ضغط θ تتحرك الكرة المدفوعة بقوة θ والموازية لهذا المستوى وقد تقدم في الدرس الثالث

عشر بيان الكيفية التي بها يمكن تقدير التأثيرات الحاصلة من هذه القوة وحيث ان الاحتكاك يمنع الكرة عن التحلق على مستوى θ فانها تتخرج على هذا المستوى كما تخرج البجلة على الارض فاذا كان المستوى جسمه مصقولا بالسوية كانت مقاومة الاحتكاك واحدة بالنسبة لضغط

θ فاذا لم يكن للجسم الذي يصادم المستوى محيط مستدير فانه يتخرج على هذا المستوى على وجه بحيث يصعد مركز ثقله ويهبط بالتعاقب ويحدث من ذلك مقاومات غير متساوية ومبهمة كثيرا او قليلا تقتصر على ذكرها هنا نقول ان هذه المقاومات غير المتساوية تدل على أنه يلزم في توصيل الجهود المتواصلة مع الانتظام الى طول المستوى الثابت جسمه أن نستعمل دائما اجساما محيطاتها مستديرة كالكروالاسطوانات والمخاريط وسطوح الدورات

على العموم

فاذا كان معابداً عن الجسم الصلب جسم رخو يصادم المستوى الثابت كانت المسئلة غامضة يلزم فيها معرفة الصورة التي يأخذها الجسم الرخو بعد الاصطدام غير أن هذه الصورة قل أن استعملت مع القابضة في القنون الميكانيكية

ولا يقع مثل ذلك في اصطدام الاجسام المرنة فاذا كان جسم تام المرونة بجسم أ يصادم مستوى م ن (شكل ٢٠) فان قوة أ أو الدافعة له تصل الى قوتين اخرين احدهما و ش التي تدفعه عمودياً على مستوى

م ن والثانية و ك التي تؤثر فيه بالتوازي لهذا المستوى وحيث ان هذه القوة الاخيرة لا يمنعها مانع فانها تستمر على تأثيرها بعد الاصطدام فاذن يتحرك الجسم دائماً مع سرعة واحدة بالتوازي لمستوى م ن الثابت

وحيث ان قوة و ش مؤثرة عمودياً على م ن كان يجري عليها قوانين الاصطدام المستقيم في الاجسام المرنة فاذن يلزم أن تحوّل قوة و ش بجسمها الى المستوى الثابت وتعود الى وضعها الاصلى بواسطة مقاومة هذا الجسم المساوية دائماً للتأثير فيصعد حينئذ الجسم المرن المدفوع بقوة مساوية لقوة و ش غير أنها تكون متجهة الى جهة مضادة لجهتها وبناء على ذلك اذا وصل جسم م ن بجسم و يتحرك منتظماً مستقيماً الى وضع بحيث انه

في زمن معلوم يقرب من و ك موازياً للمستوى الثابت ومن ش و عمودياً على هذا المستوى بعد حصول الاصطدام فان هذا الجسم يقرب في مسافة واحدة من الزمن من و ك = و ك موازياً للمستوى

الثابت ومن و ش عمودياً على هذا المستوى وحيث ان يكون خط و أ الذي هو عبارة عن اتجاها المسافة المقطوعة ومقدارها هو وتر الشكل

المتوازي الاضلاع القائم الزوايا وهو شوك أ المساوي شوك أ
فاذن تكون زاويتا اوش و اوش متساويتين

فعلى ذلك اذا صدم جسم تام المرونة مستويا ثابنا مصادمة على حسب زاوية
تعرف بزاوية السقوط فإنه يكون ملازما لسرعته وياخذ اتجاها جديدا
يبعده عن هذا المستوى ابعادا على حسب زاوية تعرف بزاوية الانعكاس وهي
مساوية لزاوية السقوط

وقد سبق أن العاج قريب جدا من الاجسام التامة المرونة فلذا اذا صدمت
الكرة المتخذة من العاج مستويا فانها ترتد مع سرعتها الاصلية بحيث تكون زاوية
الانعكاس مساوية تقريبا لزاوية السقوط وبالجملة فلقب البليار مبقى على
معركة قانون اصطدام الاجسام المرنة

ولنفرض مثلا أن خانة من خانات البليار كخانة ث (شكل ٢١)
موضوعة على وجه بحيث تناسب كرتي أ و ب فاذا مددنا قولا مستقيم
ثب حتى وصل الى خط م ن وثانيا مستقيم اه حدث معنا
أن زاوية مه ب = ن ه أ فاذا دفعنا كرة أ الى نقطة ه
انعكست على اتجاه ه ب وصادمت ب مصادمة مستقيمة ثم سكنت
واما ب فانها تنتقل الى هذه النقطة مع سرعة كسرعة أ تجاهها عند
الاصطدام في اتجاه ب ث الذي يوصل الى الخانة وليست كرة ب
في الغالب على اتجاه ث ب القائم الموصل الى الخانة كما في شكل ٢٢
فيلزم اذن أن كرة أ بعد أن ترمى الى ه وتنعكس بحيث يكون اه ن
= مه أ تصل الى وضع أ لتصادم كرة ب ثم تعود الى خانة ث
(وهذا الشرط يتحقق اذا كان مستقيم مه صه المماس لكرتين في نقطة
تماسهما موضوعا على وجه بحيث تكون الزاويتان الحادتان منه مع مستقيمي
ب ث و اه متساويتين)

ويؤخذ من ذلك أن لعب البليار يستلزم أن يكون النظر متمركزا على تصور
الاتجاهات والزوايا وأن تكون اليد ايضا متمركزة على ما يرشدها النظر اليه
وفي القرن السابع عشر استعمل الشهير ووبكن طريقة في اطلاق المدافع لها
علاقة بانعكاس الاجسام المروية وهي انه اذا اطلقنا كلة متوسطة الثقل ككلة α
على اتجاه \overline{AB} (شكل ٢٣) المرتفع قليلا عن الافق فان تلك الكلة
الواصله الى الارض بواسطة التناقل تقع في نقطة α على حسب زاوية α كبر قليلا
من زاوية β \overline{AB} وتنعكس حينئذ على حسب زاوية β \overline{AB} المساوية
زاوية β \overline{AB} تقريبا ثم تقع مرة اخرى لترتفع ثانيا فاذا وجد حينئذ على خط
 \overline{AB} عدة موانع يلزم ازالتهن فانطلق عليها الكل عدة مرات حتى يحصل بذلك
الاصطدام والانعكاس او الونوب وليس حصول الانعكاسات المتوالية
او الونوبات مقصودا على صورة ما اذا ضربنا بالكلة على اجسام صلبة كالبلدران
المبنية بالاجار او الاخشاب وكل حصون المتينة والسفن او ضربنا بها على ارض
مبلطة او برية متسعة او تلوح كما فعله العساكر الفرنساوية في واقعة اوسترليس
بل تحصل ايضا في صورة ما اذا رمينا اجساما مروية على سائل تضرب سطحه
على حسب زاوية سقوط صغيرة
ومثل ذلك يعرفه حق المعرفة الصبيان الذين يرمون على وجه الماء اجارا
مسطحة فان هذه الاجار تب ويحدث عنها سبع انعكاسات او ثمانية او عشرة على
حسب كبر قوة الرمي وصغرها وخفة يده عند الرمي
وفي الضوء الواقع على الاجسام الرخوة شاهد لطيف على ما للاجسام المروية من
الانعكاسات المهمة لان زاوية الانعكاس في هذا الوقوع مساوية دائما لزاوية
السقوط واعظم الآلات القرنجية ضبطها هو ما يتحقق به مروية تلك الاجسام
وقد تقدم في مجت الاصطدام أن الاجسام الصلبة والاجسام الرخوة يتعدم
جزء من قوتها اذا كانت اتجاهاتها متضادة وذلك متعذر في الاجسام التامة
المروية ونادر في الاجسام غير تامة المروية

وهذه المزية المختصة بالاجسام المرنة دون الاجسام الصلبة والرخوة جعلت استعمال تلك الاجسام نافعا جدا في علم الميكانيكا مثلا اذا لاحظنا تحرك العربات التي يعرض لعجلاتها دائما اصطدامات كبيرة او صغيرة من الاجزاء البارزة في عمرها وجدنا ان الاتقع في تلك العربات ان تحمل صناديقها او وسقها على يايات لان تأثير هذه اليايات يحفظ جزأ من القوة الاقصية كان يعدمه الاصطدام فيستعمل حيثتد هذا الجزء في تحرك العربة المتزايد واما جزء القوة الدافع للعربة من اسفل الى اعلى بواسطة تأثير اليايات التي تنثنى على نفسها حين تأخذ القوة الدافعة من اسفل الى اعلى في التأثير فان مركز ثقل العربة يرتفع به قليلا او كثيرا لكن متى زال المانع وهبطت عجلات العربة بعد الصعود فان اليايات الرافعة لصندوقها او وسقها تعيد مركز ثقلها الى ارتفاعه الاصلي بالنسبة الى العجلات

فعلى ذلك يعرض بواسطة تأثير اليايات لمركز ثقل العربات تحركات قليلة السرعة والمدة الى اعلى والى اسفل ويكون هذا التأثير ظاهرا جدا اذا قبل بين رجات عربتين احدهما غير معلقة والاخرى معلقة بيايات لاسيما اذا عظمت سرعة العربة المترايدة وليست فائدة التأثير المذكور مقصورة على مجرد تقليل تعب السائحين بل له فائدة اخرى اعظم من ذلك وهي انه يقي محصولات الصناعة المنقولة من التحركات السريعة والاصطدامات التي تضرب تلك المنقولات وتجنس بقيتها فاذا علقنا هذه محصولات على يايات لاجل ثقلها على العربات تحصل من ذلك فائدتان احدهما حفظ تلك محصولات حفظا تاما والثانية انه يكفي في ثقلها قوة صغيرة جدا وقد اشتهرت هذه القواعد منذ سنوات وجرى عليها العمل قري عدينة بباريس بجهة كبيرة من العربات معلقة على يايات ومعدة لنقل الاشياء السريعة التلف ولا زال استعمالها آخذا في الزيادة على مدى الايام لان له فائدتين احدهما نقل الانتقال العظيمة بالخيول المعدة لذلك والثانية منع ضرر ما ينشأ عن ثقلها من العوارض وليس لليايات مجرد هاتين الفائدتين اللتين هما تقليل ما يعطل سير العربات

وتقليل ما يعرض لاجالها من الاصطدامات بل لها ايضا فائدة اخرى وهي
تقليل ما يعرض للعربات من الاصطدامات الشديدة او منعها بالكلية
ثم ان مرونة الحبال تكسبها صلاحية لمقاومة الاصطدامات السريعة وتجنبها
كاليابان كما يشاهد ذلك في الحبال المربوطة من احد طرفيها برأس الصاري
ومن الطرف الاخر بجانب السفينة فاذا هبت الريح على حين غفلة واثرت
في الشراعات بقوة جديدة فان الحبال الموجودة في جهة الهواء تمتد تدريجيا
بواسطة تأثير هذه القوة الى النقطة التي تكون فيها المقاومة التدريجية الحاصلة
من الحبال والمضافة الى المقاومة المتزايدة الحاصلة من ثبات السفينة عند صيائها
بتأثير الهواء مكافئة لقوة الهواء الدافعة ثم ان قصت هذه القوة الدافعة فان
قوة مرونة الحبال تعيد هذه الحال بالتدريج الى طولها الاصل اما السراير
التي لروتها تخفى بجزء من الحبال فانها تعدل بواسطة هذه المرونة ويكون كل
من الحبال والصواري قابلا لمقاومة جديدة اذا عاد الهواء الى تأثيره السريع
ومن المهم جدا أن تمتد الحبال مقدارا يقبل استعمالها في اسناد الصواري
كالجواغيس والاطراف وذلك لان تلك الحبال في مبداء استعمالها تكون
عرضة للمد كثيرا بواسطة تأثير القوى الجاذبة في الجهة الطولية بدون أن تعود
الى امتدادها الاصل عند انقطاع تأثير هذه القوى ويلزم من مبداء التمدد
أن تمتد حتى تبلغ الغاية في الحد قبل أن يحصل من قوة مرونتها ما يعيد منها
مما يمكن الوصول اليه فيما تستعمل لاجله

وقد شاهدت السفينة ذات الكوبريات الثلاثة المسماة بتجارة بارمن حبي
انكسرت صواربها العليا بين جريرة قرسقة واقريقة لرادة المرونة
وكان من شأن ذلك أن تلك السفينة كانت قرية عهد بالتطعيم فكانت صواريها
ممسكة بحبال لم تبلغ في المداخذ اللازم بحيث يكون لقوة مرونتها تأثير كبير
المقاومة النافعة الكافية

واذا اريد وضع احوال ثقيلة في جوانب السفينة ليرعى منها كل ذات ثقل
عظيمة لم لاجل تخفيف الاصطدام الحاصل عند رمي الكلبة مع هارت الى

السفينة دفعا قويا أن يتم وضع طبقة كثيفة من الاجسام المرونة على الكوبرية
ليقع عليها بالتدريج تأثير الضغط المتزايد من الهاون حتى يذلك اخشاب
السفينة على اختلاف انواعها من التفرق والتكسر

فان وضع سندال على بناء صلب خال عن المرونة فان تأثير الاصطدامات
لتواليه الحادثة من الضرب بالمطرقة على السندال يكسر الاجزاء الموضوعة
عليها هذا السندال في اقرب وقت فان حصل الاهتمام بوضع جسم مرن
ككتلة من خشب تحت السندال المذكور فان البناء الحامل لهذه الكتلة
لا يلقه التلف

واذا ضرب الصانع بمطرقة رؤسها من الحديد ونصابها من الخشب فان الاصطدام
الحادث من رؤس المطرقة يوصل الى نصابها ارتجاجات تتعب يد الصانع كثيرا
لا سيما في مثل اشغال نحاس والسنكري لان ضربات المطرقة فيها تكون
متتالية على سطوح متجة فاذن يلزم الاهتمام بجعل قبضة النصاب اعظم من
جزءه الموضوعة في رؤس المطرقة حتى تمر الارتجاجات بقطاعات تكون سعتها
في مبدء الامر قليلة ثم تمتد شيئا فشيئا وبذلك تأخذ شدتها في القوة والضعف
على التدرج حتى ينتهي امرها الى أن الصانع لا يحرص بها الاحساسا هينا

والى اتم الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون في تطبيق الهندسة
على فنون * على يد معصمه المستنصر بمولاه القوى * المتحنى اليه تعالى محمد
ة العدوى * بعد مقابلته على اصله مع مترجمه * ومعرب كله * السيد صالح
بدي وكان تحرير الفاظه الاصطلاحية * ومعادلاته الجبرية *
معرفة حضرة محمد افندي يوسى وملاحظة حضرة ناظر قلم الترجمة العلامة
رفاعة افندي * حيث كان التعويل في حل المشكلات عليه * والمرجع
في تلك المعضلات اليه * تحت ادارة حضرة مدير المدارس * التي هي
في الديار المصرية من اينع المغارس * سعادة مير الواء ادهم بيك لازالت
المدارس باقتضاه راقية في التباح مرافق القرقد * رافعة كاه
الدعاء لولي النعم وانجالة بدوام السعادة والسودد

وكان تمام جمع حروفه الفاصلة • وتنج صفوفه الكلمة • بدار الطباعة

المصريه • احدى • يوم الاثنين

الحياة في الجاهلية

وَسَيُنْزِلُ غَدًا عَلَيْنَا الْغَمَامَ

الباهره • على صاحبها افضل الصلاة

وازکی التعلیم • مافاح مسک

ختم و سری به

المسألة

5184
21A

